Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ) des Instituts
für Klinisch-theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin.

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN DES DENTINS VON BLEIBENDEN MENSCHLICHEN ZÄHNEN MIT ABRASIONEN UND KEILFÖRMIGEN DEFEKTEN

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnärztin Bärbel Guggolz
aus Berlin

1973

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ) des Instituts
für Klinisch-theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin.

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN DES DENTINS VON BLEIBENDEN MENSCHLICHEN ZÄHNEN MIT ABRASIONEN UND KEILFÖRMIGEN DEFEKTEN

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnärztin Bärbel Guggolz
aus Berlin

Referent: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ

Korreferent: Professor Dr. med. Willy SCHWARZ

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 16. März 1973

Druck: H. Franzen, 1 Berlin 21, Telefon 391 23 25

M E I N E N E L T E R N

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552710_0101

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

A. EINLEITUNG 1

B. LITERATURÜBERSICHT 3
I. Literatur zum Thema "Abrasion" 3
II. Literatur zum Thema "Keilförmiger Defekt" . 10

C. MATERIAL UND METHODE 15
I. Material 15
II. Methode 15
1. Glutaraldehyd-Osmium-Fixierung und Einbettung 15
2. Herstellung der Dünnschnitte 16
3. Nachkontrastierung 18

D. ERGEBNISSE 20
I. Mikromorphologie der freigelegten Dentinoberfläche bei Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten 21
II. Mikromorphologie des Dentins bei Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten 24
1. Die Dentingrundsubstanz 24
2. Die Dentinkanäle und deren Hofbezirke . . 28
3. Das Grenzgebiet Dentin - Pulpa 32
Abbildungen 34

E. DISKUSSION 57

F. ZUSAMMENFASSUNG 67

G. LITERATURVERZEICHNIS 70

A. E I N L E I T U N G

Abrasionen und keilförmige Defekte können sich an einzelnen Zähnen oder Zahngruppen im Laufe der Gebrauchsperiode ausbilden. Sie sind durch einen chronischen Verlust von Zahnhartsubstanz gekennzeichnet, wobei zunächst Schmelz-, im Falle des keilförmigen Defektes auch Zement- und später dann Dentinpartien abgebaut werden. In besonders ausgeprägten Fällen kann es infolge des Hartgewebsverlustes sogar zur Eröffnung der Pulpa kommen.

Bei Durchsicht der zahlreichen Beiträge der letzten Jahre und Jahrzehnte zum Thema "Abrasion" einerseits und "keilförmiger Defekt" andererseits sind bei der Beantwortung vieler diesbezüglicher Probleme, wie z.B. der Genese und Histologie, teilweise Übereinstimmungen festzustellen. Auch die Tatsache, daß statistische Untersuchungen ergeben haben, daß Abrasionsgebisse häufig auch keilförmige Defekte aufweisen, läßt Gemeinsamkeiten in der Entstehungsweise vermuten.

In vielen dieser Untersuchungen wird gleichzeitig aber auch deutlich, daß bei der Abrasion und beim keilförmigen Defekt bis heute noch viele Probleme ungelöst sind; so ist auch die Ultrastruktur des freigelegten Dentins größtenteils noch ungeklärt.

Die histologischen Dentinuntersuchungen von Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten sind fast ausschließlich auf lichtmikroskopischem Wege erfolgt. Daher konnten wegen des begrenzten lichtoptischen Auflösungsvermögens die ultrastrukturellen Bauelemente des Dentins nicht dargestellt und geklärt werden. Erst aus

jüngster Zeit liegen vereinzelt elektronenmikroskopische Dentinuntersuchungen von Abrasionszähnen vor.

Aufgabe dieser Arbeit soll es daher sein, die Feinstruktur des Dentins zu untersuchen und zu prüfen, inwieweit im ultrastrukturellen Dentinbereich bei Abrasion und beim keilförmigen Defekt Übereinstimmungen feststellbar sind. Gleichzeitig soll versucht werden, an Hand der Ultrastruktur des Dentins Fragen hinsichtlich der Genese und des Verhaltens der Pulpa bei Abrasionen und keilförmigen Defekten zu klären.

B. L I T E R A T U R Ü B E R S I C H T

Bei Durchsicht der Literatur wurde ersichtlich, daß in den Untersuchungen, die die Abrasion einerseits und den keilförmigen Defekt andererseits betreffen, teilweise bei den Ergebnissen Übereinstimmungen zu finden sind. Einer besseren Übersicht wegen soll jedoch die Literatur zu diesem großen Themenkreis nicht nebeneinander, sondern nacheinander abgehandelt werden.

I. Literatur zum Thema "Abrasion"

Abrasionen, die schon normalerweise mit zunehmendem Alter an den Zähnen, wie z.B. an Schneidekanten und Kontaktpunkten sichtbar werden, beschränken sich meist auf den Schmelzbereich und sind eine physiologische Erscheinung. Daneben lassen sich aber an manchen Zähnen auch verstärkte Abrasionen beobachten, die in ihrer Form und ihrem Ausmaß erheblich vom physiologischen Zustand abweichen und deren klinisches Bild in der zahnärztlichen Literatur sehr einheitlich beschrieben wird.

Abhängig von den Bißverhältnissen bilden sich an den Zahnoberflächen in der Form und Lage unterschiedliche Abschleifungsflächen aus. Nach dem Verlust der Schmelzdecke wird die Kaufläche vom Dentin gebildet, nur an der Peripherie bleibt ein dünner Schmelzrand stehen. Da Dentin infolge seiner geringeren Härte schneller als Schmelz abgetragen wird, ist die Kaufläche oft muldenförmig. Die Abrasionsflächen sind hart, glatt und von spiegelndem Glanze. Die Farbe des freigelegten Dentins ist meist nicht einheitlich, sie reicht von gelb bis dunkelbraun, was teils mit einer veränderten Struktur des Dentins, teils auch mit der Pigmentierung zusammenhängt (BASTYR (1922), EULER (1951), PILZ (1969)).

Bis heute ist der Entstehungsmodus der Abrasion nicht eindeutig geklärt. Diesbezüglich werden in der zahnärztlichen Literatur vielfältige und teilweise recht unterschiedliche Meinungen vertreten. Viele Autoren kommen in ihren Untersuchungen zwar einheitlich zu dem Ergebnis, daß Abrasionen auf mechanischem Wege entstehen, zur Frage jedoch, welcher Art diese mechanischen Einflüsse sind, gibt es verschiedene Auffassungen. So glauben u.a. BASTYR (1922) und EULER (1940), daß bestimmte Nahrungsbestandteile eine schleifende Wirkung auf die Zahnhartsubstanzen haben. Weniger Nahrungsmittel, sondern vor allem abgebrochene und abgetragene kleine Schmelzpartikel kommen nach Meinung von PORTWICH (1957) und PILZ (1969) als Schleifmittel in Frage. Die starken Abrasionen, die DAVIES und PEDERSEN (1955) bei primitiven Eingeborenen Grönlands beobachten konnten, werden nach Auffassung der Autoren nicht so sehr durch schleifende Nahrungsbestandteile als vielmehr durch kräftiges und ausdauerndes Kauen und der damit verbundenen Kontaktreibung der Zähne verursacht. Auch HORN (1967) glaubt, daß intensives Kauen und "die Bevorzugung kauzwingender Speisen" zur Abrasion führen, da hierbei die aufzuwendenden Kaukräfte ums Doppelte ansteigen. Abnorme Kaubewegungen, die nach Verlust von Kaueinheiten ausgeführt werden, verursachen nach HÜBNER (1949) an den Restzähnen durch Überbeanspruchung Abrasionen. Daß Abrasionen unabhängig vom Kauakt vor allem durch ein Gegeneinanderreiben und -pressen der Zahnreihen (Parafunktionen) entstehen, vermuten KAROLY (1902), DRUM (1958), LANGE (1967) und PILZ (1969).

Neben diesen rein mechanischen Einflüssen spielen nach MEYER (1959) und THOMA (1954) vermutlich auch chemische

Lösungsvorgänge an den Zahnhartsubstanzen bei Ausbildung der Abrasionen eine Rolle. Ferner ist nach BASTYR (1922), GROSCHE (1950), THOMA (1954) und LANGE (1967) eine mangelhafte Mineralisation ein prädisponierender Faktor bei der Genese der Abrasion.

Festzustellen, ob und in welcher Art das freiliegende Dentin durch den Abrasionsvorgang in seiner Struktur verändert wird, war die Aufgabe physiko-chemischer und histologischer Untersuchungen. So konnte HYAZINTOWA (1960) bei vitalen Abrasionszähnen am freiliegenden Dentin eine deutliche Härtezunahme feststellen. Demgegenüber beobachtete POTHMANN (1965) eine Härteminderung. Keine Unterschiede bezüglich der Mikrohärte zwischen normalem Dentin und Dentin von Abrasionszähnen konnten BIRD, KELMAN, LERNER, ROSENFELD, TOTAH und HODGE (1948) nachweisen. Auch chemische Analysen der organischen und anorganischen Dentinbestandteile, welche die letztgenannten Autoren durchführten, erbrachten keine signifikanten Differenzierungen von der normalen Dentinzusammensetzung.

Die histologischen Dentinuntersuchungen im Abrasionsbereich sind fast alle auf lichtmikroskopischem Wege erfolgt. Nach SCHMIDT und KEIL (1958) zeigt das durch Abrasion des Schmelzes freigelegte Dentin bei polarisationsoptischen Untersuchungen keine deutlichen Veränderungen in der Grundsubstanz. Im Bereich der Dentinkanäle dagegen lassen sich nach KETTERL (1961) Veränderungen beobachten. So konnte der Autor feststellen, daß die Dentinkanälchen sich homogen anfärben und kein Lumen erkennen lassen. Er kommt daher zu dem Ergebnis, daß bei Zähnen, die bis aufs Dentin abradiert

sind, ein Extremfall der regressiven Veränderungen vorliegt, und zwar ist es durch Kalkablagerung zu einer vollständigen Obliteration der Dentinkanäle gekommen. Auch THOMA (1954) beobachtete eine "Sklerosierung" des Dentins durch Ablagerung von Calcium im Dentinkanal.

Im Zusammenhang mit der Abrasion ist auch das Verhalten der Pulpa untersucht worden. THOMA (1954) konnte, ausgenommen einiger atrophischer und degenerierter Odontoblasten, die mit den obliterierten Dentinkanälen korrespondieren, meistens keine Veränderung der Pulpa feststellen. Nur bei sehr ausgeprägten Abrasionen kann es zu entzündlichen Veränderungen der Pulpa kommen. Nach HÜBNER (1949) nun sind die Reaktionen der Pulpa abhängig:
a) vom zeitlichen Ablauf des Abrasionsprozesses,
b) vom Grad des mechanischen Reizes und
c) von der Beschaffenheit der Pulpa selbst.
Eine leistungsfähige Pulpa reagiert auf einen Substanzverlust mit ausgedehnter Sekundärdentinbildung, wodurch sich das Pulpenkavum verkleinert und schließlich sogar ganz obliterieren kann (HÜBNER (1949), EULER (1951), LANGE (1967) und PILZ (1969)). Vermindert sich jedoch die Reaktionsfähigkeit der Pulpa, so vermag sie nur noch in geringem Grade Sekundärdentin zu bilden, und es kann zur Freilegung der Pulpa kommen (HÜBNER (1949), EULER (1951)). Nach LANGE (1967) sind retikuläre Atrophie der Odontoblasten, bindegewebige Degeneration, granulomatöse Veränderungen bzw. gangränöser Zerfall der Pulpa die Folge.

Eine Eröffnung der Pulpenkammer konnten EULER (1951), DAVIES und PEDERSEN (1955) und PILZ (1969) aber nur sehr selten bei starker Abrasion beobachten. HORN (1967) stellt sogar eine Freilegung der Pulpa durch Abrasion überhaupt in Frage. Demgegenüber ist nach HARNDT (1967) eine Eröffnung der Pulpenkammer keineswegs selten, da mit fortschreitendem Alter die Sekundärdentinbildung geringer wird.

Wie ausgeführt, kann es auf dem Wege einer Abrasion zu Pulpaveränderungen und zur Pulpitis kommen. Nach HARNDT (1967) werden bei noch geschlossener Hartsubstanzdecke pulpitische Beschwerden vor allem durch thermische Reizeinflüsse verursacht; eine bakterielle Infektion der Pulpa ist jedoch nur bei Eröffnung des Pulpenkavums möglich. EULER (1951) dagegen vertritt die Ansicht, daß es auch ohne ein Freiliegen der Pulpa durch die kurzen und nicht mehr genügend verkalkten Kanälchen zur Bakterieninvasion kommen kann.

Während lichtmikroskopische Dentinuntersuchungen an Abrasionszähnen nur recht unbefriedigende Ergebnisse vermitteln, da es wegen des begrenzten lichtoptischen Auflösungsvermögens nicht möglich ist, genauere Kenntnis von der Feinstruktur des Dentins und etwaigen Veränderungen in diesem Bereich zu erhalten, ermöglichen elektronenmikroskopische Untersuchungen wesentlich detailliertere Aussagen.

LANGELAND und TRONSTAD (1970) konnten bei ihren elektronenmikroskopischen Untersuchungen der nicht entmineralisierten Ultradünnschnitte keine Veränderungen am intertubulären Dentin feststellen, demgegenüber jedoch Verän-

derungen im Bereich der Dentinkanäle. Die Kanäle sind teils obliteriert, teils enthalten sie Mineralablagerungen, die in ihrer Form und Dichte stark variieren. Einige dieser intratubulären Kristallite sind nadelförmig, andere mehr plattenähnlich. Sofern der Odontoblastenfortsatz noch im Dentinkanal enthalten ist, scheint er degeneriert und verdichtet zu sein. Im irregulären Dentin variiert die peritubuläre Zone hinsichtlich ihrer Breite und Dichte, und manchmal enthält sie längs orientierte kollagene Fibrillen. Zahlreiche kollagene Fibrillen mit der gleichen Orientierung lassen sich auch im Lumen vieler Dentinkanäle nachweisen. In der Pulpa konnten genannte Autoren einen Rückgang der Odontoblastenzahl verzeichnen, und in allen untersuchten Fällen weist die Pulpa ein entzündliches Infiltrat auf. PATRIKEEV (1969) kam bei seinen elektronenmikroskopischen Untersuchungen, die sich jedoch nur auf den Dentinbereich erstreckten, zu ähnlichen Ergebnissen. Er stellte fest, daß die Dentinkanäle von einer breiteren hypermineralisierten Zone umgeben werden, wobei die Hydroxylkristallite dichter angeordnet sind. Die meisten Kanäle sind sowohl im primären wie auch im sekundären Dentin obliteriert, und die Struktur der Substanzen in den obliterierten Kanälen ist granulär oder plattenähnlich.

Bei der Abrasion werden in einem chronischen Verlauf Teile des Schmelzes, d.h. der Epithelbedeckung, abgetragen, und es kommt zur Freilegung subepithelialen Gewebes, hier des Dentins. Zur Frage nun, ob auch in Verbindung mit der Abrasion von einer Dentinwunde gesprochen werden kann, gibt es in der Literatur sehr unterschiedliche Meinungen.

Nach MEYER (1958) stellt das vom Schmelz entblößte Dentin der menschlichen Zähne keine Wunde dar, "gleichgültig ob der Schmelz durch Abrasion, durch künstliches Beschleifen oder durch kariösen Prozeß verloren ging, denn es bestehen keine wesentlichen Unterschiede". Demgegenüber ist REBEL (1959) der Auffassung, daß immer von einer Wunde gesprochen werden muß, sobald irgendwo Schmelz beseitigt wird und Umweltfaktoren physikalischer, mechanischer und chemischer Art auf freigelegtes bindegewebiges Material, in diesem Falle Dentin, einwirken können.

Nach KETTERL (1961) und LOGAR (1962) stellt das durch künstliches Beschleifen, Bohren oder durch kariösen Prozeß freigelegte Dentin im Gegensatz zur Ansicht MEYERS (1958) stets eine Wunde dar. Bei der Abrasion jedoch kann nicht von einer Dentinwunde gesprochen werden. Nach Meinung KETTERLS (1961) ist es zu einer vollständigen Obliteration der Dentinkanäle gekommen, so daß der Flüssigkeitstransport von der Dentinoberfläche zur Pulpa hin unterbunden worden ist und "die periphere Zahnbeinschicht die Rolle des ektodermalen Schmelzes übernommen hat". Nach LOGAR (1962) werden die peripheren Dentinkanäle durch Gerinnung der Odontoblastenfortsätze verschlossen, daneben lagert sich aber auch vermutlich eine Schutzschicht, die vom Mundmilieu aus gebildet wird, auf das entblößte Dentin an (Deckschichtentheorie).

II. Literatur zum Thema "Keilförmiger Defekt"

Wie schon bei der Abrasion besteht auch beim keilförmigen Defekt bei der Beschreibung des klinischen Bildes in der Literatur weitgehendst Übereinstimmung. Keilförmige Defekte sind gekennzeichnet durch einen charakteristischen keilförmigen Substanzverlust an der labialen bzw. buccalen Fläche der Frontzähne und Prämolaren, selten der Molaren. Sie sind in der Regel im Zahnhalsbereich an der Schmelz-Zement-Grenze lokalisiert. Das freiliegende Dentin zeigt normale Härte und Farbe, in einigen Fällen ist es gelblicher, seltener bräunlich verfärbt. Die Oberfläche ist glatt und glänzend (PILZ (1969)). Wie THOMA (1954) und GROSSKOPF (1967) beobachten konnten, weist der beginnende Defekt eine auffallende Berührungsempfindlichkeit auf, während beim stärker ausgebildeten Defekt keine bzw. nur geringe Sensationen auftreten.

Bis heute ist die Genese der keilförmigen Defekte nicht eindeutig geklärt. Obwohl zahlreiche Untersuchungen angestellt worden sind, gehen die Meinungen betr. Entstehung und Ursache weit auseinander. So glauben zahlreiche Autoren, von denen hier TOMES und ZSIGMONDY (zitiert nach BASTYR (1922)) und DALI (1967) genannt seien, daß die keilförmigen Defekte allein durch mechanische Einflüsse entstehen. Übermäßiges und unsachgemäßes Bürsten der Zähne sowie die Verwendung von Zahnputzmitteln, die zu scharfe Schleifmittel enthalten, werden hierzu genannt.

Gegen die Ansicht einer rein mechanischen Entstehungsweise spricht aber der Umstand, daß keilförmige Defekte sich auch an Gebissen zeigen können, bei denen oben genannte Faktoren mit Sicherheit auszuschalten sind.

Andere Autoren, wie HAGELBERG und COLEMAN (zitiert nach BASTYR (1922)), sind der Meinung, daß die Defekte durch chemische Einflüsse zustande kommen, indem das saure Sekret des Zahnfleisches (HAGELBERG) oder die von den Speicheldrüsen ausgeschiedene Säure (COLEMAN) auf die Zahnhartsubstanzen entkalkend wirken. Diese Theorie findet JANNARONE (1964) in seinen Untersuchungen bestätigt, wo er mittels eines tragbaren Mikro-pH-Meßgerätes bei Personen mit keilförmigen Defekten ausnahmslos einen geringeren pH-Wert als normal im Speichel und in der Zahnhalsregion feststellen konnte. Dagegen vertreten ZNAMENSKY (zitiert nach BASTYR (1922)) und BASTYR (1922) selbst die Auffassung, daß es auf chemischem Wege zu einer Schädigung der organischen Substanz kommt, wodurch "die Kalksalze ihren Zusammenhalt verlieren und mechanisch ausfallen".

Auch die rein chemischen Theorien erklären nicht in befriedigendem Maße die Keilform und die ausschließliche Lokalisation der Defekte im Zahnhalsbereich sowie die Tatsache, daß keilförmige Defekte nicht generalisiert, sondern nur an einzelnen Zähnen vorkommen.

Daher sind wiederum andere Autoren geneigt, für das Zustandekommen der Defekte mehrere Faktoren in Betracht zu ziehen. Hierzu seien u.a. SCHLENKER, SCHEFF, WALKHOFF (zitiert nach BASTYR (1922)) und ROZEIK (1955)

angeführt, die in ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis gelangt sind, daß es durch Säureeinfluß zu einer chemischen Destruktion der Zahnhartsubstanzen kommt und die auf diese Weise entkalkten Schichten dann auf mechanischem Wege beseitigt werden. EULER (1951) dagegen vertritt die Ansicht, daß eine Erweichung der Hartsubstanzen nicht auf Säureeinwirkung, sondern auf eine chronisch verlaufende Zahnhalskaries zurückzuführen ist. Nach der Schmelzzerstörung werden die oberflächlich durch Bakterieninvasion erweichten, entkalkten Dentinpartien mechanisch abgeschliffen, wie z.B. beim Putzen der Zähne. Diese Auffassung wird von SCHMIDT und KEIL (1958), LANGE (1967) und WERNER (1971) geteilt.

Nach WANNENMACHER (1969) sind vor allem Mineralisationsunregelmäßigkeiten im zervikalen Schmelzabschnitt ursächlich für die Entstehung der Defekte. Der Schmelz ist in seinen marginalen, dünn auslaufenden Flächen reich an Retziusstreifen und weniger widerstandsfähig, wodurch eine mechanische Beseitigung des Hartgewebes erleichtert wird.

GROSSKOPF (1967) gelangt auf Grund makrophotographischer Betrachtungen sowie spannungsoptischer Studien am Modell zu dem Ergebnis, daß es nur durch eine Fehl- bzw. Überbelastung der Zähne zur Ausbildung der keilförmigen Defekte im Zahnhalsbereich kommen kann, daneben sind andere mechanische Momente von sekundärer Bedeutung.

Bei Durchsicht der Literatur zur Histologie des Dentins im Bereich der keilförmigen Defekte ist festzustellen, daß sämtliche Untersuchungen hierzu auf lichtmikroskopischem Wege erfolgt sind. Damit ist bis heute die

Möglichkeit nicht genutzt worden, mit Hilfe des Elektronenmikroskops zu detaillierteren Aussagen über die Dentinstruktur zu gelangen.

BASTYR (1922) fand bei seinen histologischen Untersuchungen im Bereich der Defekte einen teils schmäleren, teils breiteren Gürtel von "transparentem Dentin". Das Pulpenkavum ist durch umfangreiche Bildung von Sekundärdentin verengt, in einigen Fällen sogar vollständig obliteriert. THOMA (1954) beobachtete ebenfalls eine "Sklerosierung" des Dentins durch Anlagerung von Calcium in den Dentinkanälen. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von KEIL (1954), SCHMIDT und KEIL (1958) und PILZ (1969). SCHMIDT und KEIL (1954, 1958) konnten bei ihren histologischen Untersuchungen im polarisierten Licht im Bereich der beginnenden Hohlkehlenbildung als Vorstufe des keilförmigen Defektes eine starke Doppelbrechung feststellen, die auf Entkalkung und dadurch stärkeres Hervortreten des Kollagens hindeutet, bei tiefer ausgeprägten Defekten jedoch finden sie keinen Hinweis mehr für Demineralisationserscheinungen. Auch eine Verdichtung der Grundsubstanz bzw. stärkere Mineralisierung läßt sich nicht nachweisen, Transparenzzonen fehlen. Die Dentinstruktur im Bereich der Defekte erscheint unverändert, selbst im äußersten Randbereich. Daraus folgern die Autoren, daß "die Odontoblastenfortsätze in den Dentinkanälen zu keiner nennenswerten Stoffwechseltätigkeit mehr befähigt sind, sie verhalten sich mehr oder weniger passiv und leiten nur den Reiz zur Bildung von Sekundärdentin als Pulpaschutz weiter". Die Auffassung wird von PILZ (1969) geteilt.

Die Struktur des auf den keilförmigen Defekt hin reaktiv gebildeten Sekundärdentins ist nach WANNENMACHER (1927) äußerst regelmäßig und geordnet, nach THOMA (1954) jedoch oft atubulär wegen der Atrophie von Odontoblasten.

Hinsichtlich der Veränderungen der Pulpa beim keilförmigen Defekt stellt WANNENMACHER (1927) in seinen Untersuchungen eine starke Gefäßerweiterung, Vermehrung der bindegewebigen Elemente und unregelmäßige Anordnung der Odontoblasten fest. Auf Grund dieses Befundes kommt der Autor zu dem Ergebnis, daß sich die Pulpa nicht in einem entzündlichen, wohl aber in einem "Erregungszustand" befindet. Nach THOMA (1954) kann es zu hyalinen Veränderungen in der Pulpa kommen.

Wie bei der Abrasion so kann sich auch beim keilförmigen Defekt eine Pulpitis ausbilden, wenn chemische, physikalische und bakterielle Noxen wirksam werden. Die Möglichkeit einer bakteriellen Infektion der Pulpa ist jedoch nach WILLINGER (zitiert nach DALI (1967)) und HARNDT (1967) nur bei Eröffnung des Pulpenkavums gegeben.

Der Überblick über die Literatur zeigt, daß zum Thema "Abrasion und keilförmiger Defekt" aus verschiedener Sicht Untersuchungen angestellt worden sind. Gleichzeitig wird aber auch offenkundig, wie wenig Klarheit bei vielen diesbezüglichen Fragen bis heute noch besteht.

C. MATERIAL UND METHODE

I. Material

Für die elektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden zwei Incisivi, zwei Canini und zwei Prämolaren ausgewählt, die insgesamt von sechs Patienten beiderlei Geschlechtes stammten, deren Alter zwischen 56 und 72 Jahren lag. Die Zähne waren aus prothetischen Gründen extrahiert worden. Sie hatten weder Füllungen, noch wiesen sie eine klinisch erkennbare Karies auf. Zwei dieser Zähne zeigten Abrasion, ein Zahn einen keilförmigen Defekt, und drei Zähne hatten sowohl eine Abrasion als auch einen keilförmigen Defekt. An allen Zähnen war es infolge des Zahnhartsubstanzverlustes in unterschiedlicher Stärke zur Freilegung von Dentin gekommen, in keinem Falle war jedoch das Pulpenkavum eröffnet.

II. Methode

1. Glutaraldehyd-Osmium-Fixierung und Einbettung

Die Zähne kamen sofort nach Extraktion zur Fixierung in eine 5%ige phosphatgepufferte Glutaraldehydlösung, deren pH-Wert bei 7,2 lag. In dieser Lösung verblieben die Zähne mindestens drei Tage. Anschließend wurden sie nach folgendem Schema mit Osmiumtetraoxyd nachfixiert und in Mikropal eingebettet:

a) mit physiologischer NaCl-Lösung auswaschen und
b) in ein Phosphatpuffergemisch von pH 7,2 für mindestens 18 Stunden geben;

c) danach zwei Stunden in veronalazetatgepufferter, isotonischer OsO_4-Lösung von pH 7,2 nachfixieren und

d) mit physiologischer NaCl-Lösung abspülen.

e) entwässern:

5 Minuten in 50%igem Alkohol
5 Minuten in 75%igem Alkohol
5 Minuten in 95%igem Alkohol
2 x 10 Minuten in absolutem Alkohol
1 x 30 Minuten in absolutem Alkohol
mit Styrol überspülen
3 x 30 Minuten in Styrol

f) überführen der Präparate in Mikropal-Styrol (+ Katalysator, + Aktivator) im Verhältnis 1 : 1 für eine Stunde

g) überführen in Mikropal (+ Katalysator, + Aktivator) für 24 Stunden bei ca. 20° C

h) einbringen der Präparate in Eiswürfelkästchen, auffüllen mit Mikropal (+ Katalysator, + Aktivator), Luft evakuieren

i) Polymerisation: 12 - 36 Stunden bei 60° C

2. Herstellung der Dünnschnitte

Nach 24stündiger Polymerisation bei 60° C wurden an einer Schneidemaschine der Firma Dr. STEEG & REUTER die im Mikropalblock eingebetteten unentkalkten Zähne in vestibulo- oraler Richtung in Längsschnitte von 0,6 mm Dicke zerlegt.

Von diesen Dünnschnitten wurden pro Zahn 2 - 4 Schnitte ausgewählt, die folgende elektronenmikroskopischen Untersuchungen ermöglichten:

a) Untersuchung der mit dem Mundmilieu in enger Verbindung stehenden freigelegten Dentinoberfläche
b) Untersuchung des freigelegten Dentins von seiner Oberfläche bis zur Pulpa hin.

Die unter diesen Gesichtspunkten ausgesuchten Dünnschnitte wurden so zurechtgeschnitten und in Gelatinekapseln gestellt, daß später eine Anspitzung in den jeweils gewünschten Dentinpartien erfolgen konnte. Die Gelatinekapseln wurden mit Mikropal (+ Katalysator, + Aktivator) aufgefüllt. Um Blasenbildung zu vermeiden, wurde die Luft evakuiert. Anschließend erfolgte die Polymerisation über 12 - 36 Stunden bei 60° C.

Nach dem Polymerisieren wurden die Gelatinekapseln in Wasser angelöst und entfernt und die Präparate in einen Präparatehalter eingespannt. Unter lichtoptischer Kontrolle erfolgte dann mit flammenförmigen Finierern die Anspitzung der Präparate in den gewünschten Dentinbereichen (s. Zeichnung).

Untersuchte Dentinbereiche:

Dentinoberfläche

Oberfläche - Pulpa

Dabei muß, um optimale Ultradünnschnitte zu erhalten, die elektronenmikroskopisch zu untersuchende Objektstelle in der Spitze einer von vier Seitenflächen begrenzten Pyramide liegen. Die Präparation wurde an einem Binokularlupen-Präpariermikroskop der Firma BAUSCH & LOMB vorgenommen.

Von den so angespitzten Präparaten wurden an einem LKB-ULTROTOME TYPE 4800 A mit Diamantmessern Ultradünnschnitte von 600 - 700 Å Stärke hergestellt. Die Schnitte wurden in 20%igem Alkohol aufgefangen, mit Chloroformdämpfen gestreckt und auf Kupfernetze aufgezogen, die mit einem Formvarfilm beschichtet waren. Die Kupfernetze dienen als Objektträger, ihr Durchmesser beträgt 3 mm.

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Ultradünnschnitte erfolgten an einem SIEMENS-ELMISKOP I A bei einer Strahlspannung von 80 kV. Es wurde mit 3.000 - 30.000-facher Vergrößerung gearbeitet. Von den Schnitten wurden zur Dokumentation ihrer Ultrastruktur photographische Aufnahmen hergestellt.

3. Nachkontrastierung

Meist wurden reine Hartgewebsschnitte untersucht, nur Ultradünnschnitte aus dem Grenzbereich Dentin - Pulpa wurden zur besseren Darstellung der organischen Materie kollagenspezifisch mit Uranylazetat nachkontrastiert. Zu diesem Zwecke wurde eine Uranylazetatlösung angesetzt, indem einer beliebigen Menge von 70%igem Alkohol Uranylazetat bis zur Sättigung zugeführt wurde. Nach mehrtägiger Aufbewahrung im Kühlschrank hatte sich über einem Bodensatz eine glasklare Lösung gebildet. Die

Netze mit den zu untersuchenden Präparaten wurden 30 Minuten lang mit der befilmten Seite nach oben jeweils auf einen Tropfen der Lösung gelegt und nach dem Herausnehmen mit 70%igem Alkohol und Aqua dest. abgespült.

Durch die Nachkontrastierung mit löslichen Schwermetallsalzen, wie dem Uranylazetat, werden die Zahnhartsubstanzen teilweise entmineralisiert. Daher erfolgte auch in diesen Fällen zunächst ohne Kontrastierung eine elektronenmikroskopische Untersuchung der Präparate.

D. E R G E B N I S S E

Bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen der nicht entmineralisierten Ultradünnschnitte hat sich gezeigt, daß das Dentin von Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten in seiner Feinstruktur sehr variabel sein kann. So läßt sich von der Ultrastruktur sowohl im Gebiet der freigelegten Dentinoberfläche als auch im Dentin selbst im intertubulären und vor allem auch im peri- und intratubulären Bereich ein sehr vielseitiges Bild gewinnen. Bedenkt man jedoch, daß die Ausbildung einer Abrasion oder eines keilförmigen Defektes ein dynamischer Vorgang ist, bei dem über einen langen Zeitraum hinweg das Dentin beständig Reizeinflüssen verschiedenster Art ausgesetzt ist, so wird klar, daß die Variabilität der Ultrastruktur einen Ausdruck für die am Dentin ablaufenden Prozesse darstellt.

Ein Gesamtbild von der Feinstruktur des Dentins läßt sich daher nur aus einer Summe von Einzelbildern zusammenfügen. Beim Vergleichen und Auswerten dieses ultrastrukturellen Gesamtbildes aus dem Abrasionsbereich einerseits und aus dem Bereich des keilförmigen Defektes andererseits zeigt es sich, daß weite Übereinstimmungen vorhanden sind, die es gerechtfertigt erscheinen lassen, die Ultrastruktur beider Bereiche gemeinsam zu beschreiben. Falls Abweichungen vorhanden sind, wird im einzelnen darauf hingewiesen.

I. Mikromorphologie der freigelegten Dentinoberfläche bei Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten

Bei den hierzu untersuchten Ultradünnschnitten ist es infolge der Abrasion und der Ausbildung eines keilförmigen Defektes zur Abtragung von Schmelz- und zur Freilegung von Dentinpartien gekommen, die nun einen direkten Kontakt mit dem Mundmilieu haben. Neben Fragen zur Morphologie gewinnt daher die Kenntnis von der Ultrastruktur im Bereich der freigelegten Dentinoberfläche gerade auch bei der Klärung von Fragen zur Ätiologie und Genese der Hartsubstanzverluste an Bedeutung.

Die Untersuchungen der Ultradünnschnitte im Elektronenmikroskop haben gezeigt, daß die gesamte Oberfläche des freiliegenden Dentins von einer sehr dünnen, stark elektronendurchlässigen Schicht bedeckt ist, die alle vorhandenen Unebenheiten der Dentinoberfläche ausfüllt (Abb. 1).

Bei stärker vergrößerten Aufnahmen - Abb. 2 und 3 geben die Dentinoberfläche im Bereich eines keilförmigen Defektes wieder, die Abb. 4 und 5 zeigen die Dentinoberfläche im Bereich einer Abrasion - wird erkennbar, daß die erhöht strahlendurchlässige Zone an der Oberfläche der Defekte keine einheitliche Struktur aufweist, sondern sich noch in zwei Schichten unterteilen läßt, welche allerdings nicht deutlich voneinander abgegrenzt sind, sondern fließend ineinander übergehen.

Zunächst schließt sich dem Dentin mit normaler Feinstruktur ein Bereich an, der in unterschiedlichem Ausmaße Demineralisationserscheinungen aufweist.

Dabei läßt sich, wie die Abb. 4 und 5 zeigen, teils noch die ursprüngliche Anordnung der Kristalle, bestimmt durch die organische Dentinmatrix, erkennen, teils ist die Grundsubstanz des Dentins, wie auf der Abb. 3 zu sehen ist, schon so weit aufgelockert und entmineralisiert, daß nur noch kleine Kristallverbände, Einzelkristalle oder sogar nur Kristallfragmente vorhanden sind. Von den beiden Kristalltypen, die im normalen Dentin zu beobachten sind, einmal kleinere, hell aussehende, stäbchenförmige Kristallite, zum anderen längere, dunkle, nadelförmige Kristallite, ist besonders die Zahl der zuletzt genannten Kristallform stark vermindert (Abb. 3 u. 4). Dieser Kristalltyp ist, da er auf Grund seiner Morphologie entmineralisierenden Stoffen eine große Angriffsfläche bietet, am stärksten von Auflösungserscheinungen betroffen.

Aus den Abb. 4 u. 5 wird weiter ersichtlich, daß am intertubulären Dentin die Entmineralisierung schneller vorangeht, während am obliterierten Dentinkanal erst peripher geringfügige Entkalkungserscheinungen zu erkennen sind. Da im Bereich des Dentinkanals die Kristallite äußerst dicht zusammenliegen, können hier die entmineralisierenden Agenzien nicht in dem Maße wirksam werden wie an der aufgelockerten Struktur des intertubulären Dentins. Die Abb. 5 zeigt, wie Teile eines Dentinkanals, dessen Lumen von großen, plattenförmigen Kristallen stark verengt ist, sogar über die infolge der partiellen Entmineralisierung erhöht strahlendurchlässige Zone hinausragen können.

Der Zone verminderter Mineralisation schließt sich ohne erkennbare Grenzen eine relativ gleichmäßig elektronendurchlässige Schicht an (Abb. 2, 3 u. 4), die häufig ein wolkiges Aussehen hat (Abb. 3), oft aber auch noch unklare Strukturabzeichnungen, die an organische Dentinsubstanz erinnern (Abb. 2), erkennen läßt, so daß diese Schicht als fast strukturlos bezeichnet werden kann. Sie ist im Abrasionsbereich oftmals dünner als im Bereich des keilförmigen Defektes.

Da innerhalb der eben beschriebenen Schichten fließende Übergänge bestehen und auch der Anteil der jeweiligen Schicht sich innerhalb kleinster Bereiche ändert, - so ist auf der Abb. 4 besonders die Zone der verminderten Mineralisation, auf der Abb. 2 die fast strukturlose Zone vorherrschend - sind genaue Angaben zur Dicke der Schichten nur schwer möglich, denn sie treffen jeweils nur für einen kleinen Bereich zu. Meist jedoch lassen sich Werte unter 1 µ ermitteln.

Stellenweise kann im Abrasionsbereich, häufiger noch im Bereich des keilförmigen Defektes beobachtet werden, daß der fast strukturlosen Schicht einzelne oder gruppiert beieinanderliegende Mikroorganismen aufgelagert oder auch schon unterschiedlich weit in diese eingedrungen sind (Abb. 6). Andere Oberflächenbereiche wiederum können völlig frei von Mikroorganismen sein (Abb. 1 u.2). An zwei Zähnen, die sowohl eine Abrasion als auch einen keilförmigen Defekt aufweisen, konnte im Bereich des keilförmigen Defektes sogar eine ausgedehnte Plaquebildung beobachtet werden. Die Abb. 7 u. 8 zeigen, wie die Mikroorganismen die strukturlose Schicht und auch die unter

der Plaque entstandene schmale, partiell entmineralisierte Zone völlig durchdrungen haben. Zwischen einzelnen Mikroorganismen zerstreut liegen kleine Kristallverbände und Einzelkristalle, an denen mehr oder weniger deutlich Auflösungserscheinungen sichtbar werden. Dort, wo die Mikroorganismen bis zum Dentin normaler Struktur vorgedrungen sind, haben sie dessen Oberfläche lakunär gestaltet.

II. Mikromorphologie des Dentins bei Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten

1. Die Dentingrundsubstanz

Für die Auswertung der elektronenmikroskopischen Untersuchungen des freigelegten Dentins von seiner Oberfläche bis zur Pulpa hin im Gebiet der Abrasion und des keilförmigen Defektes ist es erforderlich, die anatomisch-topographischen Verhältnisse zu berücksichtigen. Es gelangen nämlich teils Partien des ursprünglich gebildeten, primären Dentins, teils Partien des auf die Abrasion bzw. auf den keilförmigen Defekt hin reaktiv gebildeten Dentins zur Untersuchung, wobei der Anteil der jeweiligen Dentinbereiche dabei insbesondere auch abhängig ist vom Ausmaß der Abrasionen bzw. der keilförmigen Defekte.

Bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen der nicht entkalkten Dentindünnschnitte von Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten läßt sich nun allgemein sagen, daß sich Partien des ursprünglichen Dentins vor allem durch eine sehr variable Feinstruktur im Bereich der Dentinkanäle auszeichnen, während die Grundsubstanz hier die dem normalen Dentin typische Struktur

aufweist. Der Bereich des reaktiven, neugebildeten Dentins dagegen ist neben Veränderungen im tubulären Gebiet, die sich in Mineralisationsunregelmäßigkeiten, zahlenmäßiger Abnahme oder sogar völligem Fehlen von Dentinkanälen äußern, vor allem auch gekennzeichnet durch eine unregelmäßigere Struktur der Grundsubstanz, wobei sowohl an der organischen Matrix wie auch am kristallinen Aufbau Variationen feststellbar sind.

Die normale, reguläre Struktur der Grundsubstanz im Bereich des ursprünglichen Dentins ist auf der Abb. 9 sowie teilweise auch auf den Abbildungen von der Dentinoberfläche (Abb. 1 u. 2) zu sehen. Die Abb. 9 gibt einen nur wenige µ unterhalb der Zone verminderter Mineralisation gelegenen Dentinausschnitt im Gebiet eines ausgeprägten keilförmigen Defektes wieder. Es lassen sich in einem dichten Geflecht von Kollagenfibrillen, welche die Matrix für die Apatitkristalle bilden, die zwei schon vorher erwähnten Kristalltypen unterscheiden. Erstens sind die sehr dünnen, länglichen, nadelförmigen und im elektronenmikroskopischen Bild dunkel erscheinenden Kristallite zu beobachten. Bei diesen liegt, wie Untersuchungen von HÖHLING (1966) ergaben, ein gestörtes Kristallgitter vor. Zweitens lassen sich aber auch die kleinen, stäbchenförmigen, hellgrau aussehenden Kristalle erkennen, die, da sie in Zeilen angeordnet sind, eine Querstreifung vortäuschen können. Sie besitzen nach HÖHLING (1966) ein geordnet aufgebautes Kristallgitter.

Auf der Abb. 10 ist zu sehen, daß in einigen Bereichen nun die dunklen, nadelförmigen Kristalle, die oft büschelweise zusammenliegen, überwiegen können, während in anderen Bereichen in relativ geradlinig verlaufenden Bahnen die helleren, in Zeilen geordneten Kristalle dominieren.

Von der regulären, normalen Struktur zur irregulären Struktur der Grundsubstanz gibt es keine plötzlichen, sondern fließende Übergänge, und auch innerhalb des Bereiches der Dentinneubildung weist die Grundsubstanz unterschiedliche Mineralisationsgrade auf. Bisweilen ist sie in ihrer Struktur schon sehr der des Zements ähnlich.

Die Abb. 11 gibt einen Ausschnitt des neugebildeten Dentins vom Bereich eines keilförmigen Defektes wieder und läßt beim Vergleich mit der Abb. 9, die von demselben Dünnschnitt einen Ausschnitt des ursprünglichen Dentins zeigt, deutlich eine andersartige Grundsubstanz erkennen. Einem sehr feinmaschigen, zarten Kollagenfibrillennetz sind äußerst zahlreich feine, nadelförmige und im Verhältnis zur Normalstruktur relativ kurze Kristallite angelagert. Die helleren, kleinen, stäbchenförmigen Kristalle, wie sie im regulären intertubulären Dentin vorkommen, scheinen stark vermindert zu sein. Möglicherweise werden sie aber auch nur von dem anderen Kristalltyp maskiert.

Zementähnlich in ihrer Struktur ist die Grundsubstanz auf der Abb. 12, die einen in unmittelbarer Nähe der Pulpa gelegenen Dentinausschnitt zeigt. Die Matrix erscheint relativ homogen, so daß erst bei stärkeren Vergrößerungen Einzelheiten in der Struktur sichtbar werden. So sind auf den Abb. 13 und 14, die bei Vergrößerungen von 30.000 : 1 und 36.000 : 1 Teile der zementähnlichen Dentinschicht wiedergeben, unzählige, dicht gelagerte, winzige Kristallite neben kleinsten, punktförmigen, dunklen Mineralisationskeimen zu erkennen. Diese dunklen, optisch stärker hervortretenden, punktförmigen Partikel geben der Struktur ein granuläres Gepräge. Der relativ homogene Aufbau wird aufgelockert durch schmale, minder

mineralisierte oder, wie besonders auf der Abb. 14 deutlich wird, durch nicht mineralisierte Bereiche. Die Abb. 12 zeigt weiterhin sehr deutlich, daß sich innerhalb dieser zementähnlichen Dentinschicht langgestreckte Bahnen abzeichnen können, in denen die Kristallite einer bevorzugten Richtung folgen. Der zementähnliche Dentinbereich zeichnet sich oftmals auch durch ein völliges Fehlen von Dentinkanälen aus.

Im Grenzbereich des Dentins zur Pulpa wird bei den meisten der untersuchten Ultradünnschnitte die zementähnliche Struktur der Grundsubstanz angetroffen. Die Abb. 15 läßt besonders gut am Übergang zur Pulpa die winzigen, feinen Kristallite erkennen.

Bei den untersuchten Präparaten erstreckt sich das mineralisierte Dentin überwiegend direkt bis zur Pulpa, nur vereinzelt ist zur Pulpa hin dem Dentin noch ein schmaler Prädentinbezirk vorgelagert (Abb. 16). Wie die Abbildung zeigt, lassen sich jedoch Einzelheiten an der Ultrastruktur der organischen Substanz, speziell an der des kollagenen Fibrillengeflechtes, nur schwer bzw. gar nicht erkennen. Auch eine kollagenspezifische Nachkontrastierung der Präparate brachte keine verbesserten Ergebnisse. Da das Untersuchungsmaterial bis zur Herstellung der Dünnschnitte im ganzen verarbeitet worden war, dürfte die ungenügende Fixierung der organischen Materie auf die erschwerte Diffusion der Fixierungslösung in die betreffenden Bereiche zurückzuführen sein.

2. Die Dentinkanäle und deren Hofbezirke

Ein in seiner Vielfältigkeit sehr beeindruckendes Bild läßt sich bei den vorliegenden elektronenmikroskopischen Untersuchungen besonders vom Bereich der Dentinkanäle gewinnen. Einen Überblick über die Variationsmöglichkeiten der Ultrastruktur dieses Bereichs sollen die Abb. 17 u. 18 geben.

Die Abb. 17 zeigt einen Dentinausschnitt, bei dem in der Mehrzahl die Dentinkanälchen völlig obliteriert sind, nur zwei weisen noch ein geringfügiges Lumen auf. Wie die elektronenmikroskopischen Untersuchungen ergaben, ist dieses ultrastrukturelle Bild der vollständigen oder nahezu vollständigen Obliteration der Dentinkanäle bei Abrasionen und keilförmigen Defekten überwiegend anzutreffen. Außer den obliterierten gibt es, oftmals auf engstem Raum beieinanderliegend, wie es auf der Abb. 18 zu sehen ist, auch Dentinkanäle, die einen meist stark ausgeprägten Hofbezirk, daneben aber ein z.T. sogar noch relativ großes Lumen aufweisen. Einzelmessungen der Dentinkanälchenweite haben jedoch häufig Werte erbracht, die unter den von FROMME und RIEDEL (1970) ermittelten liegen, wonach bei älteren permanenten Zähnen die Weite der Dentinkanälchen im peripheren Bereich des Kronendentins bei 1,2 µ, im pulpanahen Bereich bei 1,5 µ liegt. Die Lumina sind teils mit einer homogenen, strukturlosen Substanz ausgefüllt, teils enthalten sie auch Mikroorganismen. Außerdem sind intratubuläre Kristalleinlagerungen verschiedenen Ausmaßes zu beobachten, wobei sich die einzelnen Kristalle hinsichtlich ihrer Struktur und Elektronendurchlässigkeit stark voneinander unterscheiden können. Daher soll sich dem kurzen Überblick

eine genauere Beschreibung der Ultrastruktur der peri- und intratubulären Dentinbereiche anschließen, wie sie sich bei Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten darstellt.

Sind die Dentinkanäle nicht vollständig obliteriert, so weisen sie eine im Vergleich zur normalen Dentinstruktur meist breitere peritubuläre Dentinbildung auf, und zwar sowohl in Bereichen des ursprünglichen als auch in denen des neugebildeten Dentins (Abb. 9, 17, 19). Wie die Abb. 19 zeigt, kann dabei der Hofbezirk den Dentinkanal in unterschiedlicher Stärke umgeben.

Neben der peritubulären Dentinbildung lassen sich sehr häufig noch sekundäre intratubuläre Mineralablagerungen mit z.T. recht unterschiedlicher Kristallitausbildung feststellen. So umgibt auf der Abb. 19 ein winziger Saum von punktförmig erscheinenden Partikeln das Lumen eines Dentinkanals. Die Abb. 20 dagegen gibt aus einem pulpanahen Dentinbereich eines Abrasionszahnes einen Schrägschnitt durch ein Dentinkanälchen wieder, bei dem sich der peritubulären Dentinzone eine Mineralisationsschicht aufgelagert hat, die sich aus feinsten, zum Lumen hin etwas länger werdenden, nadelförmigen, dicht zusammenliegenden Kristalliten aufbaut, deren Längsachsen vorzugsweise zur Lumenmitte gerichtet sind.

Andere Verhältnisse zeigt die Abb. 21. Dem hier relativ schmal ausgebildeten peritubulären Dentinbezirk folgt eine intratubuläre mineralisierte Schicht, bestehend aus einem sehr losen Kristallverband. Während in unmittelbarer Nähe des peritubulären Dentins kleine nadelförmige Kristallite zu beobachten sind, nehmen zum Lumen hin die

Kristalle, deren Längsachsen überwiegend zentripetal angeordnet sind, an Länge und Flächenausdehnung zu. Ihre Form ist unregelmäßig; einige Kristalle zeigen einen bogenförmigen oder winkligen Verlauf.

Eine weitere Form der intratubulären Mineralablagerung ist auf den Abb. 5, 11 und 22 zu sehen. Dabei liegen dem Tubulusrand relativ großflächige, würfelförmige, im elektronenoptischen Bild sehr dunkel erscheinende Kristalle an, die ihrer Morphologie nach den Whitlockit -Kristallen gleichen, einer Mineralart, die bevorzugt im kariösen Gewebe zu beobachten ist. Die Abb. 23 gibt bei einer Vergrößerung von 40.000 : 1 besonders deutlich die Umrisse dieser Kristallform wieder.

Eine umfangreiche, morphologisch sehr unterschiedliche und das Lumen asymmetrisch einengende intratubuläre Kristallitanreicherung ist auf der Abb. 24 zu beobachten. Dem unregelmäßig gebildeten peritubulären Dentin folgt eine intratubuläre Mineralbildung, die erst bei einer Vergrößerung von 44.000 : 1 Einzelheiten im kristallinen Aufbau erkennen läßt. Sie ist ihrer Struktur nach dem peritubulären Dentin sehr ähnlich und besteht aus dicht gelagerten, dunklen, punktförmigen Mineralisationskeimen neben winzigen, nadelförmigen Kristalliten. Zum Lumen hin lockert sich das Kristallitgefüge auf, die Kristalle werden länger, viele auch breiter, so daß sie teilweise den auf Abb. 21 beschriebenen Kristallen gleichen. Ihre Anordnung im Lumen erfolgt wahllos. Neben diesen Kristalltypen lassen sich noch einzelne, kleinere der auf Abb. 22 näher beschriebenen rhomboedrischen Kristalle erkennen.

Das noch verbliebene Lumen der nicht vollständig obliterierten Dentinkanäle ist mit einer kontrastarmen, homogenen Substanz ausgefüllt (Abb. 18 u. 21). Außerdem konnten bei einem stark abradierten Zahn in der Nähe der Pulpa und bei zwei weiteren Zähnen, die sowohl eine Abrasion als auch einen keilförmigen Defekt aufweisen, im Bereich der keilförmigen Defekte im Lumen einiger Dentinkanälchen Mikroorganismen, vorwiegend kugelförmige, nachgewiesen werden (Abb. 18 u. 24). Ob es dabei durch die Mikroorganismen zu Demineralisationserscheinungen an dem sie umgebenden intra- und peritubulären Kristallitgefüge kommen kann, ist an Hand der hier vorliegenden elektronenmikroskopischen Bilder nicht mit Sicherheit zu klären. Eine intertubuläre Entmineralisierung konnte jedoch in keinem Falle beobachtet werden.

Infolge der intratubulären Mineralisation wird das Lumen eines Dentinkanals in zunehmendem Maße eingeengt, woraus schließlich eine vollständige Obliteration resultieren kann. Ein Beispiel dafür zeigt die Abb. 25. Umgeben von einer breiten, dunkleren peritubulären Zone zeichnet sich eine hell erscheinende, gleichförmige Mineralsubstanz ab, die sich aus feinen, erst bei starker Vergrößerung sichtbar werdenden Kristallkeimen zusammensetzt. Eine in ihrer Struktur dem peritubulären Dentin schon sehr ähnliche, jedoch im elektronenoptischen Bild etwas heller erscheinende intratubuläre Mineralisation läßt sich auf den Abb. 4 und 19 beobachten. Eine weitere Form der vollständigen Mineralisation eines Dentinkanals gibt die Abb. 26 wieder. Es liegt eine so dichte und gleichmäßige Ansammlung von Mineralisationskeimen vor, daß ein peritubulärer bzw. ein intratubulärer Bereich nicht mehr zu unterscheiden ist.

Während bei den eben beschriebenen vollständig obliterierten Dentinkanälen die intratubuläre Mineralsubstanz morphologisch der peritubulären sehr verwandt bzw. gleich ist, sind die Lumina der nachfolgend beschriebenen Dentinkanälchen ganz mit Mineralsubstanzen ausgefüllt, die sich morphologisch sehr stark vom peritubulären Dentin unterscheiden. So kann eine intensive Bildung der großflächigen, rhomboedrischen Kristalle - ihrer Morphologie nach vermutlich Whitlockit-Kristalle - einen völligen Verschluß des Lumens herbeiführen (Abb. 11 u. 23). Auch durch intratubuläre Ansammlung morphologisch sehr unterschiedlicher Kristalle kann eine Verlegung des Lumens verursacht werden (Abb. 27). Wie die Abbildung zeigt, folgt dem peritubulären Dentin intratubulär ein schmaler Saum mit kleineren rhomboedrischen Kristallen. Diesem wiederum folgt im Innern des Dentinkanals eine Anhäufung nadel-, bisweilen auch stäbchenförmiger Kristalle, deren Anordnung wahllos zu erfolgen scheint.

3. Das Grenzgebiet Dentin - Pulpa

Wie schon im Prädentinbereich sind auch im Grenzgebiet Dentin - Pulpa die Ergebnisse der elektronenmikroskopischen Untersuchungen z. T. sehr unbefriedigend. So lassen sich an der organischen Substanz auch mit Nachkontrastierung kaum mikromorphologische Einzelheiten erkennen, was auf eine ungenügende Fixierung der organischen Materie infolge erschwerter Diffusionsverhältnisse zurückzuführen ist.

An zwei der untersuchten Zähne - einem hochgradig abradierten Zahn und einem Zahn mit Abrasion und keilförmigem Defekt - konnte eine bakterielle Infizierung der

Pulpa beobachtet werden (Abb. 28). Dabei zeigen in einigen Bereichen die Mikroorganismen deutliche Degenerationserscheinungen. Während bei ca. 0,5 mm von der Pulpa entfernten Dentinbezirken nur einige Dentinkanäle Mikroorganismen enthalten, sind in den untersuchten Grenzbereichen Dentin - Pulpa alle Dentinkanäle massiv mit Mikroorganismen angefüllt.

A B B I L D U N G E N

Die Vergrößerungsangaben der einzelnen Abbildungen beziehen sich auf die elektronenmikroskopischen Originalaufnahmen. Die realen Bildvergrößerungen ergeben sich aus dem jeweils eingezeichneten Maßstab.

OV = Originalvergrößerung

Abb. 1:

Durch Abrasion freigelegtes Dentin eines -2. Die Dentinoberfläche ist von einer sehr dünnen, stark elektronendurchlässigen und alle vorhandenen Unebenheiten der Dentinoberfläche ausfüllenden Schicht bedeckt.
OV = 6.000 : 1

Abb. 2:

Freiliegendes Dentin im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem 4-. Eine dünne, fast strukturlose Schicht, die bisweilen noch Reste denaturierter organischer Dentinsubstanz enthält, bedeckt die Dentinoberfläche.
OV = 16.000 : 1

Abb. 3:

Präparat wie bei Abb. 2. Bedeckt von einer fast strukturlosen Zone weist die oberste Dentinschicht starke Entmineralisationserscheinungen auf.
OV = 21.000 : 1

Abb. 4:

Freiliegende Dentinoberfläche im Abrasionsbereich eines -2. Intertubulär erfolgt schnellere Entmineralisierung infolge der aufgelockerten Dentinstruktur. Der obliterierte Dentinkanal dagegen weist erst peripher leichte Entmineralisationserscheinungen auf.
OV = 17.000 : 1

Abb. 5:

Präparat wie bei Abb. 4. Partielle Demineralisation der obersten Dentinschicht; Teile eines Dentinkanals, der durch große, plattenförmige Kristalle - vermutlich Whitlockit-Kristalle - verengt ist, ragen über die erhöht elektronendurchlässige Zone hinaus.
OV = 18.000 : 1

Abb. 6:

Freiliegende Dentinoberfläche im Abrasionsbereich eines -2. Innerhalb der fast strukturlosen Schicht finden sich einzelne Mikroorganismen.
OV = 13.000 : 1

Abb. 7:

Relativ dicke Plaqueschicht bedeckt die Dentinoberfläche im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem -2.
OV = 6.000 : 1

Abb. 8:

Ausschnittsvergrößerung aus Abb. 7. Unter dem Einfluß der Mikroorganismen, welche die fast strukturlose Schicht völlig durchdrungen haben, kommt es zur partiellen Demineralisation der obersten Dentinschicht.
OV = 17.000 : 1

Abb. 9:

Ursprüngliches Dentin im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem -3. Die Grundsubstanz hat eine reguläre Struktur, die Dentinkanäle weisen starke peritubuläre Dentinbildung auf.
OV = 6.000 : 1

Abb. 10:

Dentin im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem 4-. Die Dentinkanäle sind vorwiegend durch plattenförmige Kristalle (Whitlockit-Kristalle) stark eingeengt bzw. obliteriert.
A: Bereich, in dem dunkle, nadelförmige Kristallite überwiegen.
B: Bereich, in dem helle, in Zeilen geordnete Kristalle dominieren.
OV = 8.000 : 1

Abb. 11:

Reaktives, neugebildetes Dentin im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem -3. Die Grundsubstanz weist feinmaschiges Kollagenfibrillennetz und feine, rel. kurze, nadelförmige Kristallite auf. Die Dentinkanäle sind durch intratubuläre Mineralablagerungen überwiegend obliteriert.
OV = 5.000 : 1

Abb. 12:

Reaktives, pulpanahes Dentin im Abrasionsbereich eines -2. Die Grundsubstanz hat eine zementähnliche Struktur; Bereiche, in denen die Kristallite einer bevorzugten Richtung folgen, sind zu beobachten. Dentinkanäle fehlen.
OV = 6.000 : 1

Abb. 13:

Präparat wie bei Abb. 12. Zementähnliches Dentin. Die Matrix ist relativ homogen, die Mineralisationskeime sind äußerst fein.
OV = 15.000 : 1

Abb. 14:

Präparat wie bei Abb. 12 u. 13. Zementähnliches Dentin, das aufgelockert wird durch minder oder nicht mineralisierte Bereiche.
OV = 18.000 : 1

Abb. 15:

Zementähnliches Dentin im Grenzbereich Dentin-Pulpa im Gebiet eines keilförmigen Defektes bei einem -2.
OV = 6.000 : 1

Abb. 16:

Prädentinbezirk von einem -3, der einen keilförmigen Defekt aufweist.
OV = 5.000 : 1

Abb. 17:

Dentinausschnitt eines abradierten -2. Die Dentinkanäle sind überwiegend obliteriert.
OV = 7.000 : 1

Abb. 18:

Dentin im Gebiet eines keilförmigen Defektes bei einem -2. Übersicht über die Variationsmöglichkeiten der Ultrastruktur im tubulären Bereich.

A: Nicht vollständig obliterierte Dentinkanäle mit peritubulären und morphologisch unterschiedlichen intratubulären Mineralablagerungen. Ihr Lumen ist mit einer homogenen Substanz ausgefüllt.

B: Dentinkanäle mit peri- und intratubulären Kristallablagerungen; verbliebene Lumina enthalten Mikroorganismen.

C: Vollständig obliterierte Dentinkanäle.

OV = 3.000 : 1

Abb. 19:

Dentinausschnitt eines abradierten -2. Links obliterierter Dentinkanal, rechts nicht obliterierter Dentinkanal mit peritubulärer Dentinbildung unterschiedlichen Ausmaßes.

OV = 10.000 : 1

Abb. 20:

Pulpanaher Dentinbereich eines abradierten -2. Schrägschnitt durch einen Dentinkanal, bei dem sich der peritubulären Dentinzone feinste, zum Lumen hin länger werdende, nadelförmige Kristallite aufgelagert haben.

OV = 13.000 : 1

Abb. 21:

Dentinausschnitt im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem -2. Dentinkanal mit geringer peritubulärer Dentinbildung. Intratubuläre Kristallite nehmen zum Lumen hin an Länge und Flächenausdehnung zu. Das verbliebene Lumen ist mit einer homogenen Substanz ausgefüllt.
OV = 22.000 : 1

Abb. 22:

Dentinausschnitt im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem 4-. Ein Dentinkanal ist mit feinsten Kristallen verschlossen, beim anderen ist das Lumen mit plattenförmigen Kristallen (Whitlockit-Kristalle) angereichert.
OV = 6.000 : 1

Abb. 23:

Dentinausschnitt im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem 4-. Plattenförmige Kristalle (Whitlockit-Kristalle) verschließen das Lumen eines Dentinkanals.
OV = 20.000 : 1

Abb. 24:

Dentinausschnitt im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem -2. Dentinkanal mit einer morphologisch sehr unterschiedlichen intratubulären Kristallitanreicherung.
A: Punktförmige Mineralisationskeime neben kleinsten, nadelförmigen Kristalliten.
B: Kristallite mit zunehmender Länge und Flächenausdehnung.
C: Mikroorganismen im verbliebenen Lumen.
OV = 22.000 : 1

Abb. 25:

Dentinausschnitt im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem 4-. Obliterierter Dentinkanal, der, umgeben von einer breiten peritubulären Zone, im Innern eine äußerst feinkristalline Substanz aufweist.
OV = 20.000 : 1

Abb. 26:

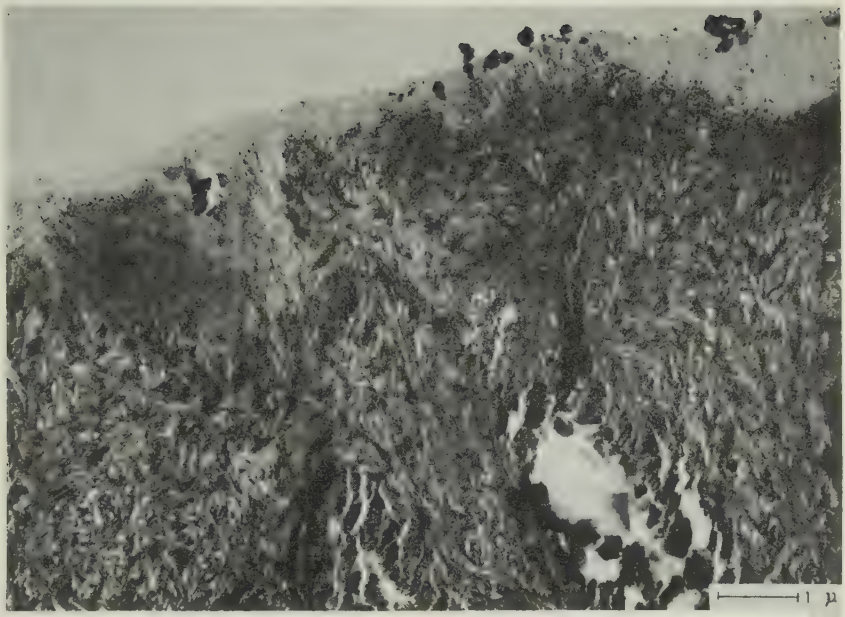
Dentinausschnitt im Abrasionsbereich eines -2. Obliterierter Dentinkanal mit einer völlig gleichmäßigen Mineralisation, so daß ein peri- bzw. intratubulärer Bereich nicht mehr zu unterscheiden ist.
OV = 19.000 : 1

Abb. 27:

Dentinausschnitt im Bereich eines keilförmigen Defektes bei einem 4-. Dentinkanal, dessen Lumen durch eine morphologisch sehr unterschiedliche Kristallitansammlung verlegt ist.
A: Whitlockit-ähnliche Kristallablagerung.
B: Wahllos angeordnete nadel- bis stäbchenförmige Kristalle.
OV = 20.000 : 1

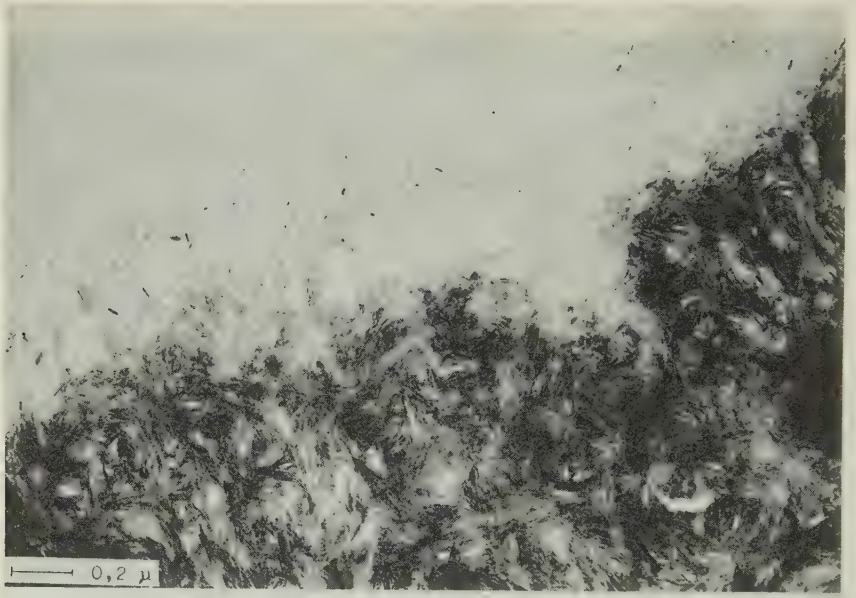
Abb. 28:

Grenzgebiet Dentin - Pulpa im Abrasionsbereich eines 3+. Zementähnliche Struktur der Dentingrundsubstanz; Pulpenkavum angefüllt mit Mikroorganismen.
OV = 4.000 : 1

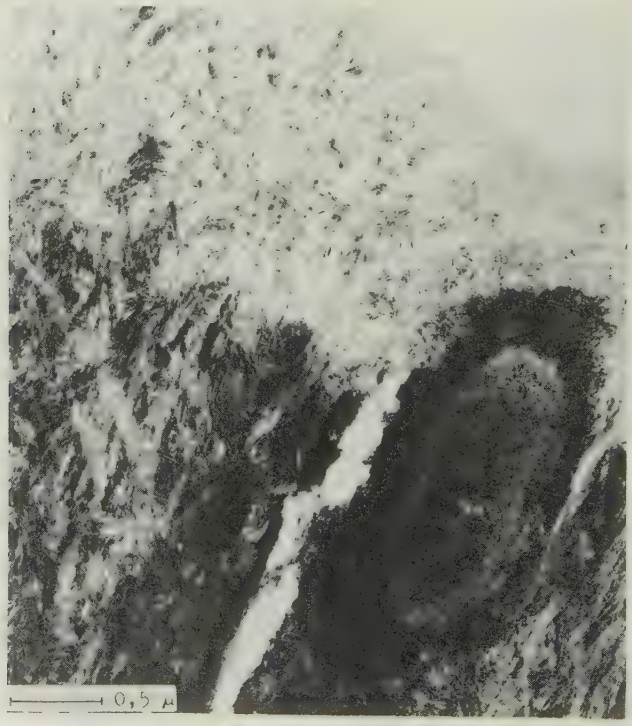


1

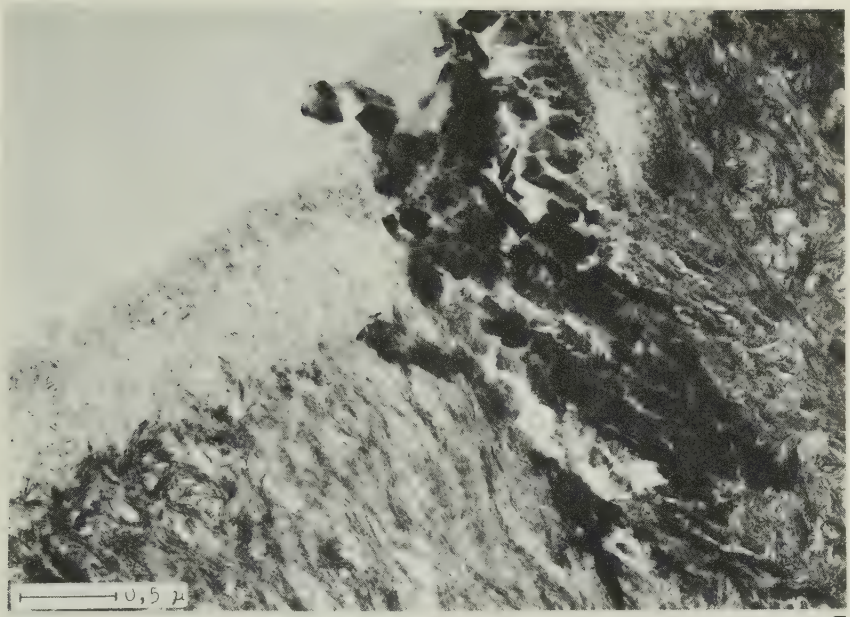
2



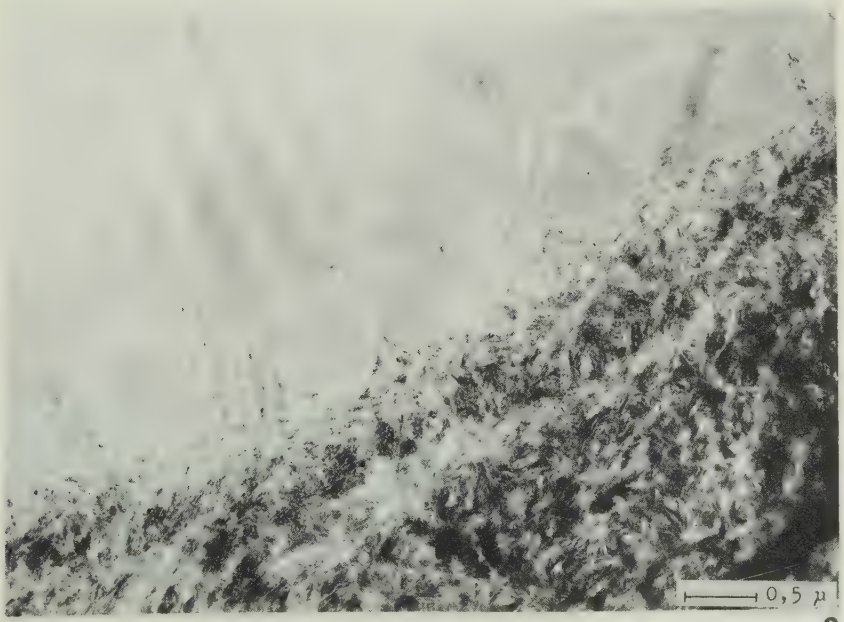
3



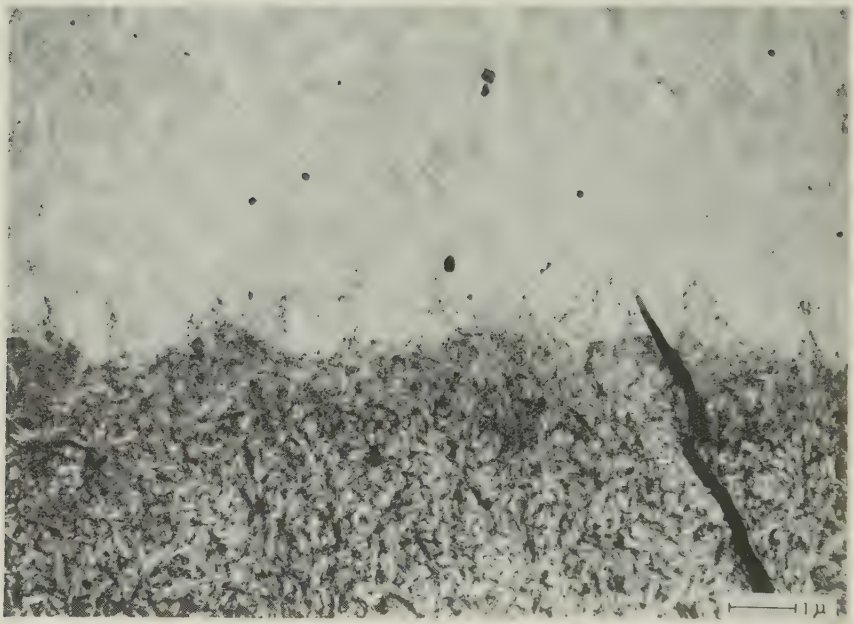
4



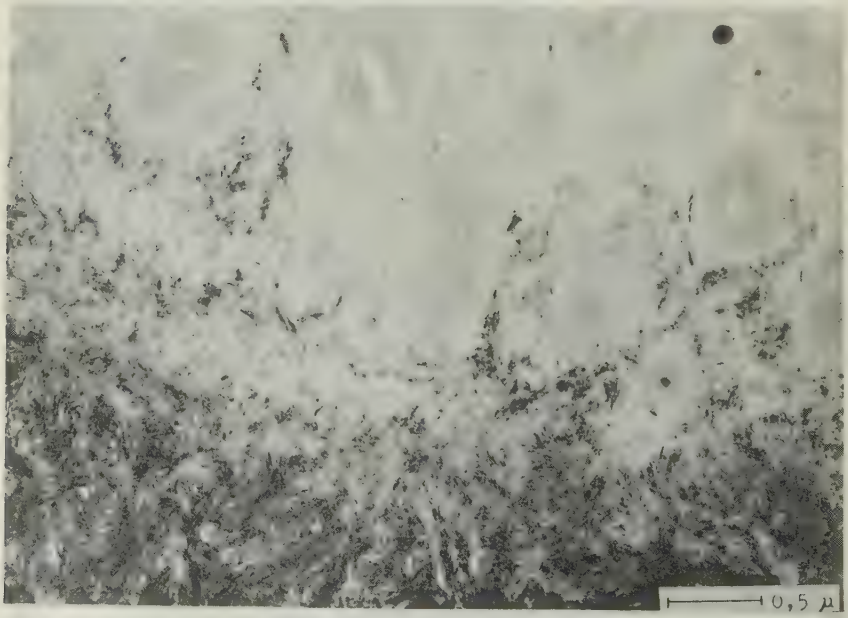
5



6

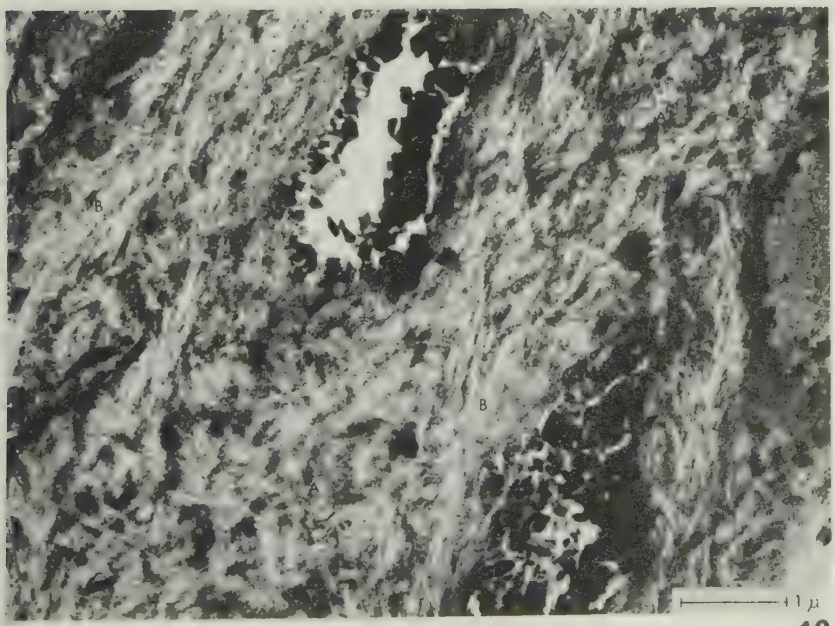


7



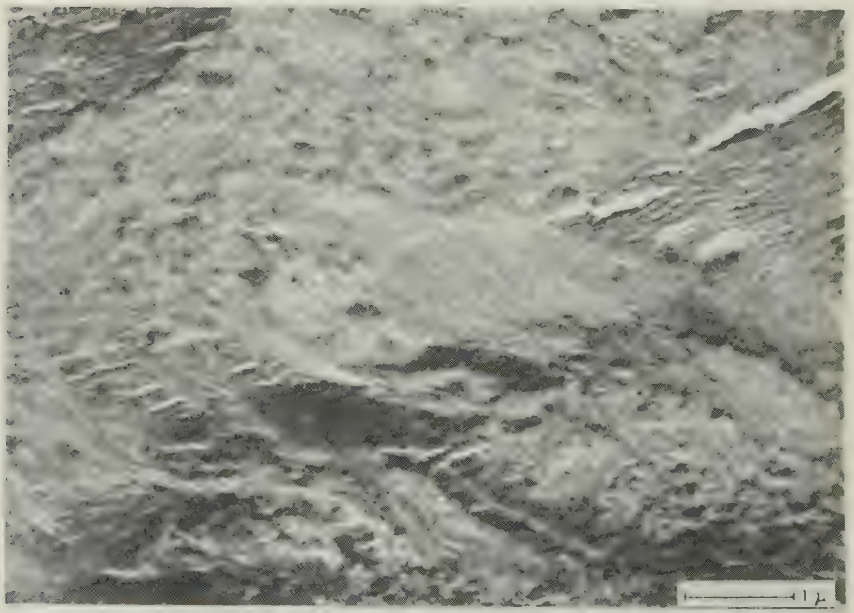
8

9

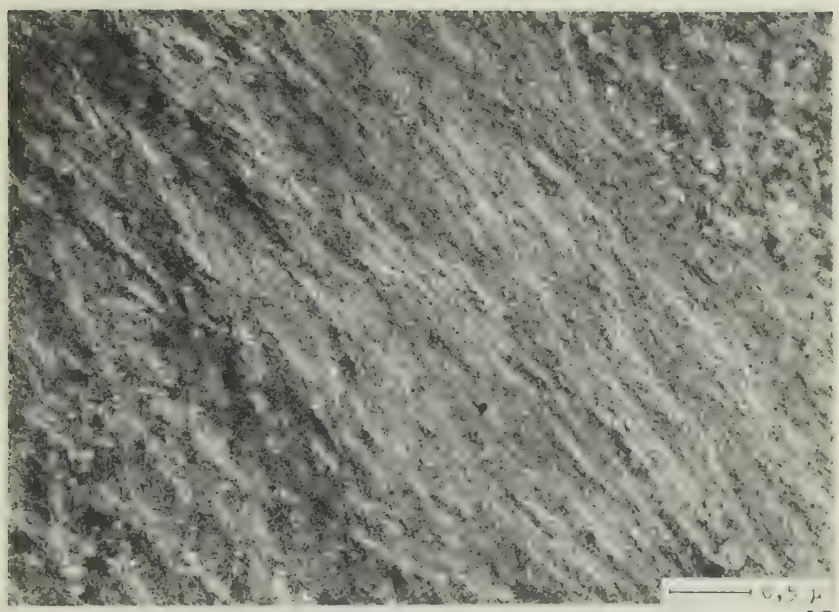


10

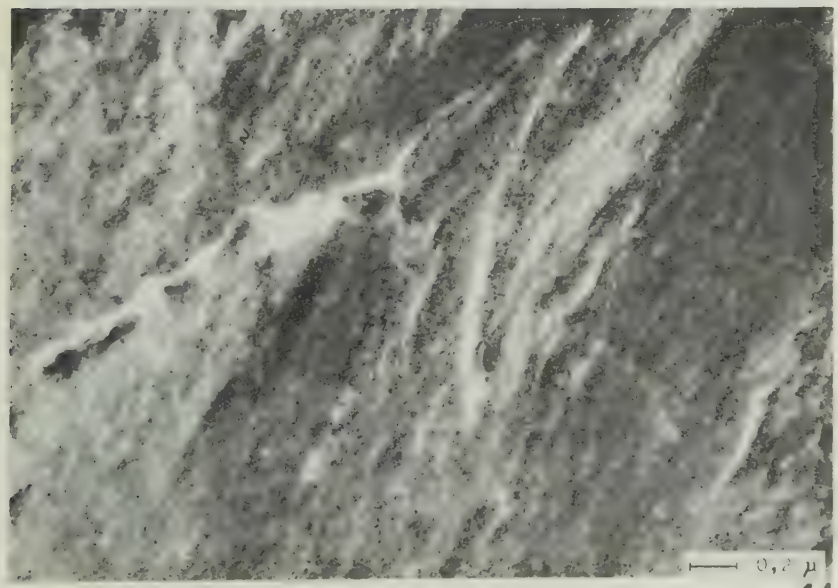
11



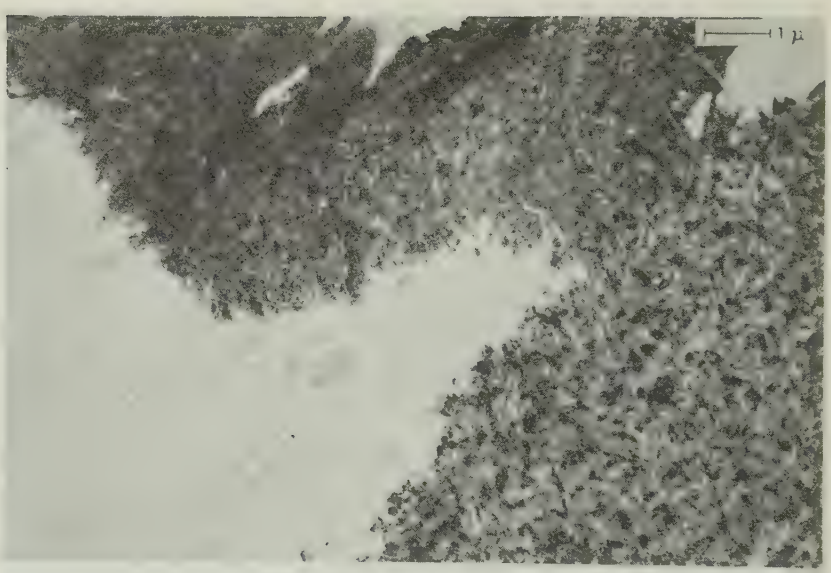
12



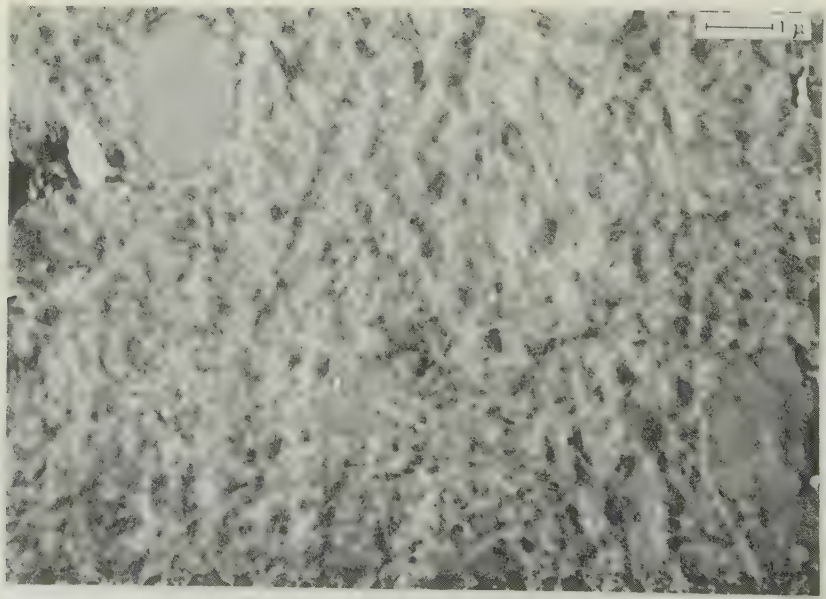
13



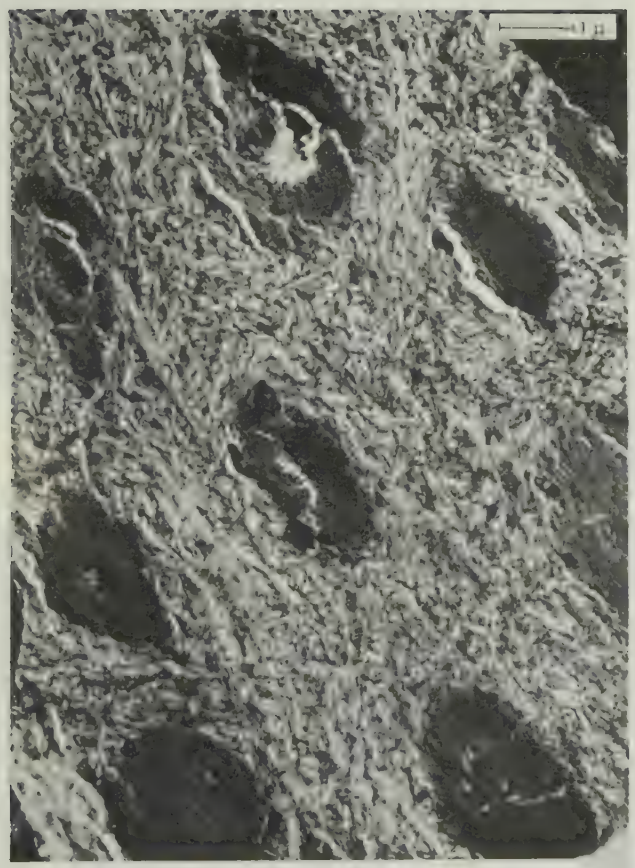
14



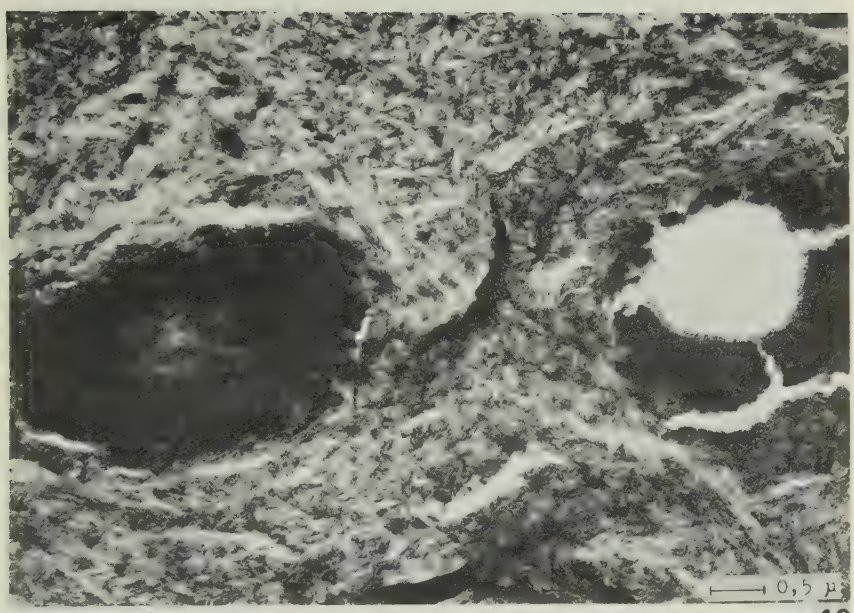
15



16

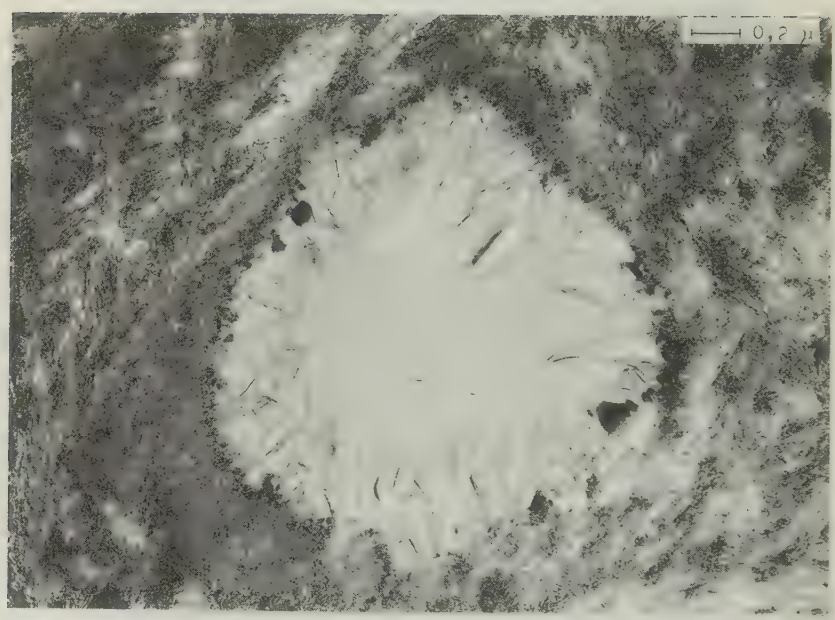


17

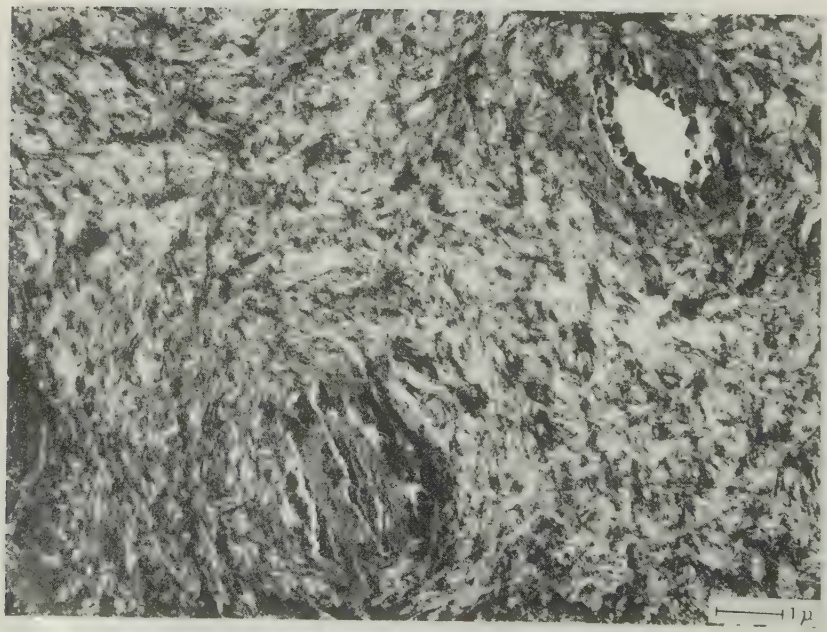


19

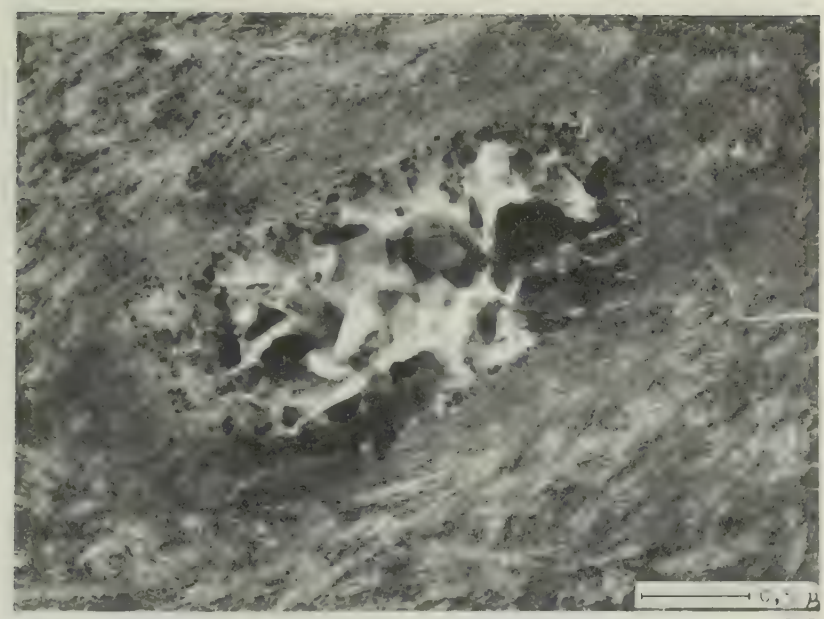
20



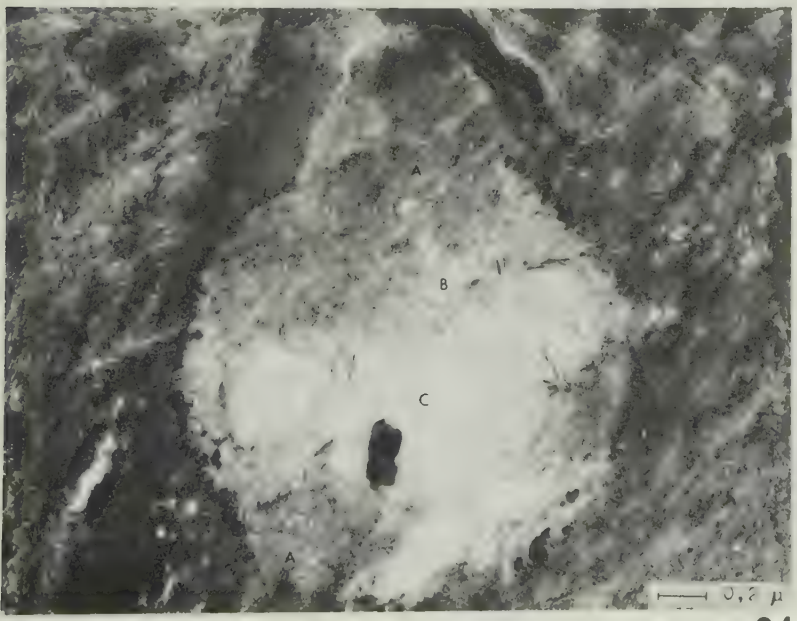
21



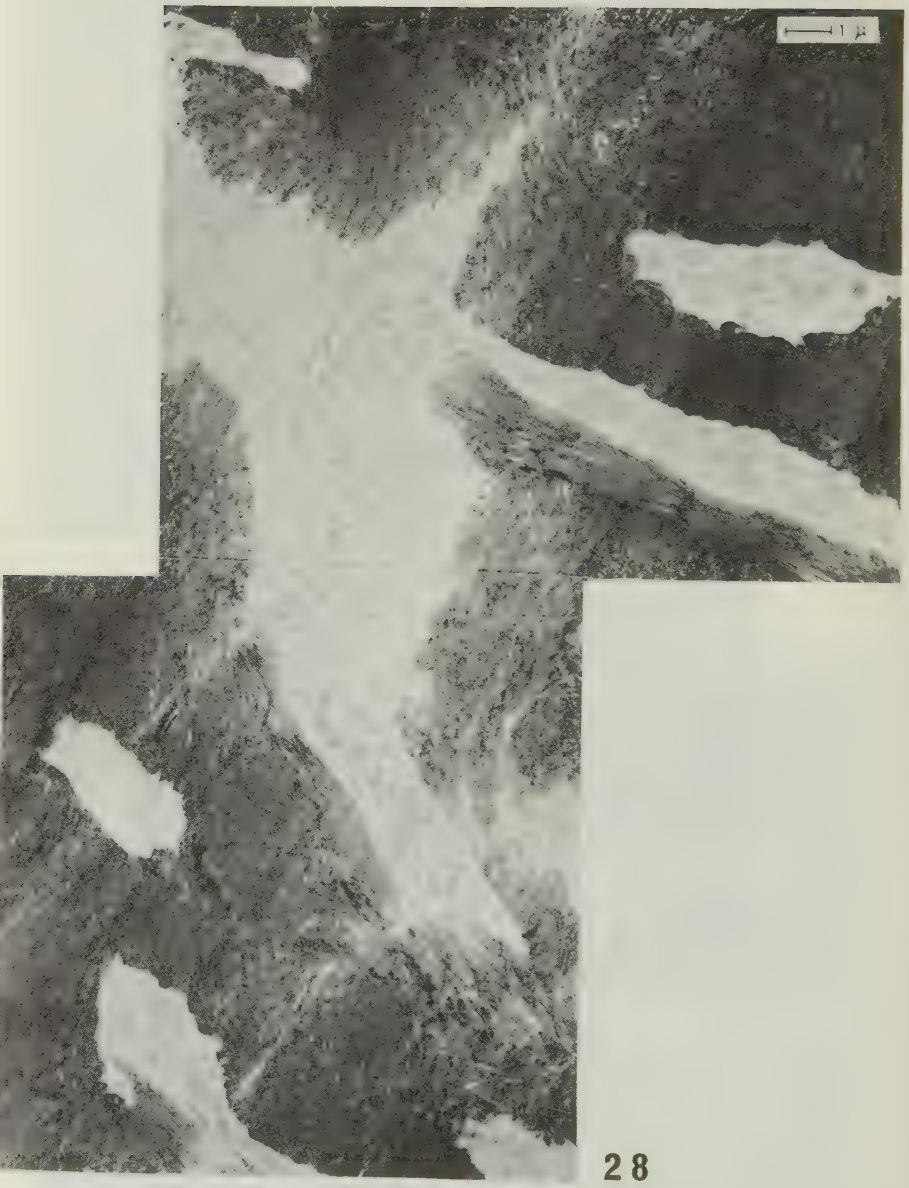
22



23



24



28

E. D I S K U S S I O N

Wie die Durchsicht der Literatur gezeigt hat, sind zum Thema "Abrasion und keilförmiger Defekt" aus verschiedenster Sicht Untersuchungen angestellt worden, wobei diese, sofern es zur Klärung der vorgegebenen Problemstellungen erforderlich war, fast ausschließlich auf lichtmikroskopischen Dentinuntersuchungen basieren. Die vorliegende Arbeit macht jedoch deutlich, daß die an Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten zu beobachtenden Dentinveränderungen im ultrastrukturellen Bereich liegen, also mit lichtoptischen Untersuchungsmethoden nicht mehr in befriedigendem Maße erfaßt werden können. Untersuchungen im Elektronenmikroskop ermöglichen daher nicht nur neue Einblicke in die Mikromorphologie des Dentins, sondern sie machen es an Hand der Darstellung ultrastruktureller Bauelemente des Dentins auch möglich, zur Klärung der zum Teil noch ungelösten Probleme bei der Abrasion und beim keilförmigen Defekt beizutragen.

Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, daß das feinstrukturelle Gesamtbild des Dentins im Abrasionsbereich einerseits und im Bereich des keilförmigen Defektes andererseits weitgehendst Übereinstimmung aufweist, eine Übereinstimmung, die teilweise auch bei anderen eingangs erwähnten Untersuchungsergebnissen festzustellen war. Auf Grund der Gemeinsamkeiten in der Ultrastruktur läßt sich vermuten, daß die zur Abrasion und zum keilförmigen Defekt führenden Faktoren gleich oder zumindest sehr ähnlich sein müssen.

Bei den Untersuchungen im Bereich der freigelegten Dentinoberfläche ist regelmäßig eine der minder mineralisierten Zone aufgelagerte sehr dünne, fast strukturlose Schicht nachweisbar (Abb. 2, 3 u. 4). Die Beobachtung, daß oft noch unklar erkennbare Strukturabzeichnungen innerhalb dieser Schicht (Abb. 2) zu finden sind, weist darauf hin, daß am Aufbau einer derartigen Bedeckung freigelegten Dentins organische Dentinsubstanz beteiligt ist. Dabei dürfte es sich auf Grund des fehlenden elektronenmikroskopischen Nachweises von kollagenen Fibrillen vor allem um Abbauprodukte der organischen Substanzen handeln. Zum anderen wird, da die Dentinoberflächen direkten Kontakt mit dem Mundmilieu haben, auch Material aus dem Speichel an der Ausbildung der fast strukturlosen Schicht beteiligt sein, die im elektronenmikroskopischen Bild dann ein mehr wolkiges Aussehen hat (Abb. 3).

Weil nun bei der Abrasion und beim keilförmigen Defekt beständig über einen langen Zeitraum hinweg Dentinpartien abgetragen werden, muß daher auch die fast strukturlose Schicht stets neu gebildet werden, die sich, wie dargelegt, nur aus viskos-kolloidalen Substanzen zusammensetzen kann, ein Befund, der sich mit den Untersuchungsergebnissen von LENZ (1967) deckt. Diese Substanzen lagern sich an oder fließen in die Zone verminderter Mineralisation ein, so daß Abgrenzungen nicht wahrnehmbar sind.

Die viskos-kolloidale Schicht konnte LENZ (1967) bei seinen elektronenmikroskopischen Untersuchungen auf allen in die Mundhöhle ragenden Teilen eines Zahnes

nachweisen und interpretiert sie als das eigentliche Zahnoberhäutchen, dessen Aufbau und Funktion veränderlich ist, abhängig von den Bedingungen in der Mundhöhle.

An der obersten Dentinschicht im Bereich der Abrasion und des keilförmigen Defektes ist weiterhin an Hand der elektronenoptischen Untersuchungen stets eine partielle Entmineralisierung nachzuweisen, wobei infolge der Dentinstruktur die entmineralisierenden Agenzien am intertubulären Dentin wirksamer werden als im Bereich der Dentinkanäle.

Die Tatsache, daß teilweise der homogenen Schicht Mikroorganismen aufgelagert oder auch schon in unterschiedlichem Ausmaße in diese eingedrungen sind, berechtigt zu der Annahme, daß es unter dem Einfluß der Mikroorganismen zu den Entmineralisationserscheinungen kommt. Da sich jedoch nicht in allen Bereichen Mikroorganismen nachweisen lassen, erhebt sich die Frage, ob die Entmineralisierung der Dentinoberfläche allein der Einwirkung von Mikroorganismen zuzuschreiben ist oder ob noch weitere Faktoren dafür in Betracht kommen, z.B. Änderungen des pH-Wertes und des Ionenbestandes im Speichel. Auch die Beobachtung von JENKINS (1966) u.a., daß mit dem Entfernen des Zahnoberhäutchens von der Zahnoberfläche die Auflösbarkeit der Zahnhartsubstanzen zunimmt, die viskos-kolloidale Schicht also einen gewissen Schutz gegen Entmineralisierung bietet, gewinnt in diesem Zusammenhang an Bedeutung, da ja im Bereich des keilförmigen Defektes, besonders aber im Bereich der Abrasion das Zahnoberhäutchen nur äußerst

dünn ist. Eine Beantwortung dieser Frage ist jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich, dazu sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Klärung der Ultrastruktur der freigelegten Dentinoberfläche läßt Rückschlüsse auf den Entstehungsmodus von Abrasionen und keilförmigen Defekten zu. Der elektronenmikroskopische Nachweis von Auflösungserscheinungen an den Kristallen der obersten Dentinschicht spricht gegen die Ansicht einer rein mechanischen Entstehungsweise, wie sie von vielen Autoren für den keilförmigen Defekt und insbesondere für die Abrasion angenommen wird. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen vielmehr, daß es bei der Abrasion und beim keilförmigen Defekt zunächst durch bakterielle Einwirkung im Sinne einer chronisch verlaufenden Karies zur Entkalkung einer sehr dünnen oberflächlichen Dentinschicht kommen kann. Außer einer durch Mikroorganismen verursachten Entmineralisierung sind, wie schon dargelegt u. wie u.a. WALKHOFF (zit. nach BASTYR (1922), THOMA (1954), ROZEIK (1955) und MEYER (1959)) annehmen, jedoch mit lichtoptischen Untersuchungsmethoden nicht nachweisen konnten, auch noch Lösungsvorgänge am Dentin, bedingt durch die die Zahnoberfläche umspülende Flüssigkeit, zu vermuten. Diese erweichte Schicht wird dann sekundär auf mechanischem Wege abgetragen, z.B. beim Putzen der Zähne oder beim Kauakt. Dabei ist anzunehmen, daß bei den Abrasionen hinsichtlich ihrer Entstehungsweise mechanische Faktoren eine größere Rolle spielen im Gegensatz zu den keilförmigen Defekten, wo verstärkt Demineralisationen bei der Genese ursächlich sein dürften. Darauf weisen auch die manchmal im Bereich des keilförmigen Defektes anzutreffenden ausgedehnten Plaquebildungen hin.

Angaben in der Literatur (BASTYR (1922), GROSCHE (1950), THOMA (1954), LANGE (1967) und WANNENMACHER (1969)), daß für die Genese einer Abrasion und eines keilförmigen Defektes eine mangelhafte Mineralisation der Zahnhartgewebe ursächlich ist, können an Hand der vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden, denn abgesehen von der äußerst schmalen, demineralisierten oberflächlichen Dentinschicht gibt das elektronenmikroskopische Bild keinen Anhaltspunkt für eine gestörte Mineralisation des Dentins.

Auch die von GROSSKOPF (1967) vertretene Ansicht, daß sich keilförmige Defekte durch Fehl- bzw. Überbelastung der Zähne ausbilden, erscheint auf Grund der ermittelten Ultrastruktur des Dentins sehr fraglich.

Im Hinblick auf die Untersuchungen am Dentin von Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten lassen sich in der Literatur zwar einige Angaben zur Struktur des peri- und intratubulären Dentinbereichs, jedoch nur wenige Angaben zur Struktur des intertubulären Dentinbereichs finden. So gelangen SCHMIDT, KEIL (1954, 1958) und PILZ (1969) mit Hilfe der Polarisationsoptik und LANGELAND und TRONSTAD (1970) bei elektronenoptischen Untersuchungen an Abrasionszähnen zu der Feststellung, daß das intertubuläre Dentin keinerlei Strukturveränderungen aufweist.

Die vorliegenden elektronenmikroskopischen Untersuchungen führen jedoch zu einem detaillierteren Ergebnis. Sie zeigen nämlich, daß im Hinblick auf die Struktur der Dentingrundsubstanz die anatomisch-topographischen Verhältnisse zu berücksichtigen sind. So hat die Grundsubstanz im Bereich des ursprünglichen Dentins eine re-

guläre Struktur, im Bereich der Dentinneubildung jedoch weist das intertubuläre Dentin eine vom normalen Dentin abweichende Struktur auf, die zur Pulpa hin zunehmend unregelmäßiger wird und bisweilen schon ein dem Zement ähnliches Aussehen annehmen kann. Dabei sind sowohl an der organischen wie auch an der anorganischen Komponente Unregelmäßigkeiten zu erkennen.

Da von den Odontoblasten die organische Dentinmatrix gebildet wird und diese wiederum in charakteristischer Weise die Kristallkeimbildung und das Kristallwachstum beeinflußt, kann die zur Pulpa hin verstärkte Bildung irregulären Dentins verschiedener Ordnung als ein Ausdruck regressiver Veränderungen an den Odontoblasten angesehen werden, bedingt durch die bei der Abrasion und beim keilförmigen Defekt über einen langen Zeitraum hinweg vorhandenen Reizeinwirkungen.

Der Grad der regressiven Veränderungen dürfte hierbei abhängig sein:

a) vom Ausmaß der Substanzverluste bei Abrasion und beim keilförmigen Defekt,
b) von der Entstehungszeit der Abrasion und des keilförmigen Defektes und
c) vom physiologischen Zustand der dentinbildenden Zellen bei Beginn der Abrasion und des keilförmigen Defektes.

Daß in Pulpanähe das Dentin in seiner Struktur häufig zementähnlich, oftmals auch atubulär ist, zeigt, daß es teilweise zu so hochgradig regressiven Veränderungen der Odontoblasten und sogar zur Involution von Odontoblasten kommen kann, daß sich an der Dentinbildung nunmehr weniger differenzierte Zellen der Pulpa beteiligen.

Fehlende bzw. geringe Prädentinbildung läßt gleichzeitig auf eine verminderte Reaktionsfähigkeit der dentinbildenden Zellen schließen.

Die vom Bereich der Dentinkanäle vorliegenden elektronenmikroskopischen Untersuchungsergebnisse, die im wesentlichen mit den von LANGELAND und TRONSTAD (1970) sowie mit den von PATRIKEEV (1969) ermittelten übereinstimmen, ermöglichen Aussagen, die wesentlich über die der lichtmikroskopischen Untersuchungsergebnisse von THOMA (1954) und KETTERL (1961) u.a. hinausgehen. Die überaus variable Ultrastruktur im peri- und intratubulären Bereich macht zudem deutlich, wie vielseitig die Reaktionsmöglichkeiten im tubulären Bereich bei der Abrasion und beim keilförmigen Defekt sein können.

Die starke peritubuläre Dentinbildung bei Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten sowohl in Bereichen des ursprünglichen wie auch in Bereichen des neugebildeten Dentins ist als eine primäre Reaktion des Odontoblastenfortsatzes anzusehen. Die peritubuläre Dentinbildung, die allgemein ja erst mit der funktionellen Beanspruchung eines Zahnes einsetzt und mit steigendem Alter zunehmend an den Dentinkanälen zur Einengung der Lumina führt, ist bei den hier untersuchten Zähnen teils als ein Vorgang des Alterns zu interpretieren. Da sie aber im Verhältnis zum normalen Dentin vergleichbarer Altersgruppen meistens weitaus umfangreicher ist, muß sie darüber hinaus noch als eine zusätzliche Reaktion des Odontoblastenfortsatzes auf die infolge einer Abrasion und eines keilförmigen Defektes verstärkt einwirkenden Reize gewertet werden.

Als eine Reaktion sekundärer Art ist die morphologisch sich deutlich vom peritubulären Dentin abhebende und in sich sehr variable intratubuläre Mineralisation anzusehen. Wie an Hand von Untersuchungen (HÖHLING (1966), HÖHLING, PFEFFERKORN, RADICKE und VAHL (1969)) gezeigt werden konnte, lagern beispielsweise Kollagenfasern und Bakterienmembranen jeweils in charakteristischer Weise Kristalle an. Die organische Substanz hat also einen spezifischen Einfluß auf Kristallbildung und Kristallanordnung. Unterschiedliche Morphologie und Anordnung der Kristalle, wie sie bei den untersuchten Präparaten intratubulär zu beobachten sind, lassen umgekehrt daher den Schluß zu, daß es am Odontoblastenfortsatz im makromolekularen Bereich zu degenerativen Veränderungen unterschiedlicher Stärke gekommen sein muß. Dabei deutet die gerichtete Anordnung von Kristallen gegenüber der wahllosen Ablagerung - beides ist zu beobachten - auf einen noch relativ hohen Ordnungsgrad der Makromoleküle hin.

Das Vorkommen der rhomboedrischen Kristalle, die sich bei exogener Zufuhr von Mg-Ionen bilden und besonders im kariösen Zahnhartgewebe zu finden sind, kann ebenfalls als ein Zeichen für degenerative Prozesse an den Odontoblastenfortsätzen gewertet werden.

Die reaktiven primären peritubulären Dentinbildungen allein bzw. die anschließenden sekundären intratubulären Kristallitablagerungen führen nun im Verlaufe der Dentinkanäle sehr häufig, wie die Untersuchungen zeigen, zu einem vollständigen Verschluß der Lumina, wodurch das Dentin bei lichtoptischer Betrachtung eine gewisse Transparenz erhält.

Die verstärkten peritubulären sowie die oftmals umfangreichen intratubulären Mineralisationen sprechen gegen die von SCHMIDT und KEIL (1954, 1958) und die von PILZ (1969) geäußerte Vermutung, daß die Odontoblasten mit ihren Fortsätzen in den Dentinkanälchen sich nur passiv verhalten und zu einer nennenswerten Stoffwechseltätigkeit nicht mehr befähigt sind. Sie müssen vielmehr, wie dargelegt, als ein Abbild eines gestörten bzw. veränderten Stoffwechsels der Odontoblasten infolge der bei Abrasion und beim keilförmigen Defekt auftretenden schädigenden Einwirkungen unterschiedlichen Grades gesehen werden.

Diese an den Odontoblastenfortsätzen zu beobachtenden regressiven Vorgänge, verbunden mit ausgedehnten Mineralisationen innerhalb der Dentinkanäle, können im Hinblick auf die Pulpa und deren Reaktionsfähigkeit positiv beurteilt werden, da sie nämlich auf Grund der eintretenden Veränderungen der Pulpa gegenüber als eine Schutzmaßnahme wirken.

Bei den nicht vollständig obliterierten Dentinkanälen sind in den Lumina kollagene Fibrillen, wie sie LANGELAND und TRONSTAD (1970) beobachteten, nicht nachweisbar. Vielmehr sind die verbliebenen Lumina mit einer homogenen, elektronenmikroskopisch unstrukturiert erscheinenden Substanz ausgefüllt. Dabei dürfte es sich einmal um mehr oder weniger degeneriertes Protoplasma des Odontoblastenfortsatzes handeln. Zum anderen ist auch die Nekrobiose eines Odontoblastenfortsatzes vorausgesetzt, in Betracht zu ziehen, daß exogene organische Substanzen in die Dentinkanäle eingelagert worden sind.

Ein Beispiel für das Vorkommen exogener organischer Partikel in den Tubuli sind auch die im Lumen einzelner Dentinkanäle vorhandenen Mikroorganismen, was bei den hier durchgeführten Untersuchungen an einem hochgradig abradierten Zahn sowie an Zähnen, die sowohl eine Abrasion wie auch einen keilförmigen Defekt aufweisen, zu beobachten war. In diesen Fällen waren die Odontoblasten vermutlich infolge zu starker, schädigender Einwirkungen nicht mehr in der Lage, durch regressive Veränderungen das Lumen zu verschließen.

Der Nachweis von Mikroorganismen in den Dentinkanälen bestätigt die von EULER (1951) vertretene Ansicht, daß es auch ohne ein Freiliegen der Pulpa durch nicht vollständig obliterierte Dentinkanäle hindurch zur Bakterieninvasion kommen kann. Eine bakterielle Infektion der Pulpa kann also entgegen den Angaben in der Literatur (HARNDT (1967), WILLINGER (zit. nach DALI (1967)) bei einem äußerlich intakten Zahn auch bei Nichteröffnung des Pulpenkavums erfolgen. Diese Möglichkeit sollte bedacht werden bei Pulpitiden unbekannter Genese.

F. Z U S A M M E N F A S S U N G

Das durch Abrasionen bzw. durch keilförmige Defekte freigelegte Dentin von bleibenden menschlichen Zähnen wurde elektronenmikroskopisch untersucht, um bisherige Erkenntnisse zu erweitern bzw. zu ergänzen. Dabei wies das ultrastrukturelle Gesamtbild des Dentins im Abrasionsbereich sowie im Bereich des keilförmigen Defektes weitgehendst Übereinstimmung auf.

Untersuchungen der Dentinoberflächen im Bereich der Abrasionen bzw. keilförmigen Defekte ergaben:

1. Die Oberfläche des freiliegenden Dentins ist stets von einer vor allem in Abrasionsbereichen äußerst dünnen, fast strukturlosen und sich ständig erneuernden viskos-kolloidalen Schicht bedeckt, die als das Zahnoberhäutchen zu interpretieren ist.
2. Stellenweise sind besonders im Bereich der keilförmigen Defekte dem Zahnoberhäutchen einzelne oder gruppiert beieinanderliegende Mikroorganismen aufgelagert oder auch schon unterschiedlich weit in dieses eingedrungen.
3. Die oberste Dentinschicht weist regelmäßig Entmineralisationserscheinungen auf, wobei, bedingt durch die Dentinstruktur, die entmineralisierenden Agenzien intertubulär wirksamer werden als im tubulären Bereich.
4. Die oberflächliche partielle Demineralisation des Dentins ist einmal der Einwirkung von Mikroorganismen zuzuschreiben, zum anderen sind auch rein chemische Lösungsvorgänge am Dentin zu vermuten.

5. Der Nachweis von Mikroorganismen und Demineralisationserscheinungen an der Dentinoberfläche deutet darauf hin, daß Abrasionen und keilförmige Defekte auch durch kariesähnliche Vorgänge entstehen können.

6. Die erweichte, sehr dünne oberflächliche Dentinschicht wird sekundär auf mechanischem Wege abgetragen.

Untersuchungen des tubulären und intertubulären Dentins im Bereich der Abrasionen bzw. der keilförmigen Defekte ergaben:

1. Das intertubuläre Dentin weist im Bereich des ursprünglichen Dentins eine normale reguläre, im Bereich der Dentinneubildung dagegen eine irreguläre Struktur auf, wobei sowohl an der organischen wie auch an der anorganischen Komponente Veränderungen erkennbar werden.

2. Die Bildung irregulären Dentins kann als ein Ausdruck regressiver Veränderungen unterschiedlichen Grades an den Odontoblasten gewertet werden.

3. In Pulpanähe hat das Dentin häufig eine zementähnliche Struktur, oftmals ist es auch atubulär, was auf eine geringe Differenzierung der dentinbildenden Zellen hinweist.

4. Fehlende bzw. geringe Prädentinbildung läßt gleichzeitig auf eine herabgesetzte Aktivität der dentinbildenden Zellen schließen.

5. Im Bereich der Dentinkanäle ist primär eine im Verhältnis zum normalen Dentin vergleichbarer Altersgruppen meistens verstärkte peritubuläre Dentinbildung zu beobachten.

6. Daneben bestehen oft noch sekundäre intratubuläre Mineralablagerungen, wobei die Kristallite in ihrer Morphologie und Anordnung sehr variabel sind.

7. Eine Obliteration der Dentintubuli kann allein durch primäre peritubuläre bzw. durch anschließende sekundäre intratubuläre Mineralablagerungen erfolgen.

8. Die peri- und intratubulären Mineralisationen sind ein Ausdruck degenerativer Prozesse unterschiedlichen Ausmaßes am Odontoblastenfortsatz.

9. Die tubulären Mineralisationen können im Hinblick auf die Pulpa einen Schutz bilden.

10. Verbliebene Lumina von Dentinkanälen sind mit einer strukturlosen, homogenen Substanz angefüllt. Dabei dürfte es sich um den mehr oder weniger degenerierten Odontoblastenfortsatz bzw. um exogene organische Partikel handeln.

11. An Zähnen, bei denen Odontoblasten vermutlich infolge zu starker, schädigender Einflüsse nicht mehr in der Lage waren, durch regressive Veränderungen das Lumen von Dentinkanälen zu verschließen, können Mikroorganismen in das verbliebene Lumen der Dentinkanäle eindringen. Dadurch wird bei einem äußerlich intakten Zahn eine bakterielle Infektion der Pulpa auch bei Nichteröffnung des Pulpenkavums möglich. Dies sollte bedacht werden bei Pulpitiden unbekannter Genese.

G. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

BASTYR, A. — In: Handbuch der Zahnheilkunde, Bd. I (Hrsg. Scheff) Verlag Urban & Schwarzenberg Wien (1922)

BIRD, M.J., E. KELMAN, H. LERNER, D. ROSENFELD, V. TOTAH and H.C. HODGE — Chemical analysis of teeth showing unusual wear. J. dent. Res. 27, 629 (1948)

DALI, A. — Über die keilförmigen Defekte an menschlichen Zähnen. Med. Diss. Kiel (1967)

DAVIES, T.G. and P.O. PEDERSEN — The degree of attrition of the deciduous teeth and first permanent molars of primitive and urbanised Greenland natives. Brit. dent. J. 99, 35 (1955)

DRUM, W. — Autodestruktion des stomatognathischen Systems I. Teil Quintess. zahnärztl. Lit. Ref. Nr. 1126, 23 (1958)

EULER, H. — Über das Altern des menschlichen Zahnsystems. Dtsch. zahnärztl. Wschr. 43, 393 (1940)

EULER, H. — Lehrbuch der Zahnheilkunde. Verlag J. F. Bergmann, München (1951)

FROMME, H.G. und H. RIEDEL — Messungen über die Weite der Dentinkanälchen an nicht entmineralisierten bleibenden Zähnen und Milchzähnen. Dtsch. zahnärztl. Z. 3, 401 (1970)

GROSCHE, H. — Untersuchungen über die Abrasion der Zähne. Med. Diss. Tübingen (1950)

GROSSKOPF, G. — Untersuchungen zur Entstehung der sog. keilförmigen Defekte am Organum dentale. Med. Diss. Frankfurt/M. (1967)

HARNDT, R. — Pulpitis an nicht kariösen Zähnen. Dtsch. Zahnärztekalender 26, 87 (1967)

HÖHLING, H.-J. — Die Bauelemente von Zahnschmelz u. Dentin aus morphologischer, chemischer u. struktureller Sicht. Verlag C. Hanser, München (1966)

HÖHLING, H.-J., G. PFEFFERKORN, J. RADICKE u. J. VAHL — Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur organischen Matrix u. Kristallbildung in menschlichen Speichelsteinen. Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 663 (1969)

HORN, H.-J. — Untersuchungen über die Abrasio dentis des alternden Gebisses. Med. Diss. Berlin (1967)

HÜBNER, O. — Kauwirkungsschäden des menschlichen Gebisses. Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 438 (1949)

HYAZINTOWA, N. A. — Die Reaktion der harten Zahngewebe auf Abrasion. Stomatologiya (Mosk.) 39, 15 (1960)

JANNARONE, F. — Contributo sperimentale allo studio dei difetti cuneiformi. Rass. internaz. stomat. prat. 15, 101 (1964)

JENKINS, G. N. — The influence of environmental fluids on enamel solubility. J. dent. Res. 45, 662 (1966)

KAROLY, M. — Beobachtungen über Pyorrhea alveolaris u. caries dentium. Österr. Ung. V. f. Z. 18, 520 (1902)

KEIL, A. — Dentinstruktur im Bereich keilförmiger Defekte. Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 501 (1954)

KETTERL, W. — Studie über das Dentin der permanenten Zähne des Menschen. Stoma (Heidelb.) 14, 79 u. 148 (1961)

LANGE, G. — Fragen der Abrasio dentis in der kons. Zahnheilkunde. Dtsch. Stomat. 17, 223 (1967)

LANGELAND, K. and L. TRONSTAD — Progr. and Abstr. 48th General Meeting IADR Abstracts 512 and 524, 176 u. 179 (1970)

LENZ, H. — Elektronenmikroskopische Untersuchungen am Schmelzoberhäutchen. Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1466 (1967)

LOGAR, A. — Über die Dentinwunde. Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 84 (1962)

MEYER, H. — Über die Ursachen der Abrasio dentis. Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 941 (1959)

MEYER, W. — Über die sogenannte Dentinwunde. Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 577 (1958)

PATRIKEEV, V. K. — Die Ultrastruktur des Dentins bei Abrasion. Stomatologiya (Mosk.) 48, 15 (1969)

PILZ, W. — Die traumatischen Läsionen der Zähne und des Gebisses. in: W. PILZ, C. H. PLATHNER und H. TAATZ Grundlagen der Kariologie und Endodontie Verlag C. Hanser, München 1969

PORTWICH, G. — Über die Abrasion am menschlichen Gebiß. Med. Diss. Kiel (1957)

POTHMANN, C. — Härtemessungen am Dentin menschlicher Zähne. Stoma (Heidelb.) 18, 182 (1965)

REBEL, H.-H. — Pulpa und Hartsubstanzverlust. Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 1453 u. 1509 (1959)

ROZEIK, F. — Über die keilförmigen Defekte der Zähne. Zahnärztl. Reform 56, 219 (1955)

SCHMIDT, W. J. und A. KEIL — Die gesunden und die erkrankten Zahngewebe des Menschen und der Wirbeltiere im Polarisationsmikroskop. Verlag C. Hanser, München 1958

THOMA, K. H. — Oral Pathology, 4. Ausg. Verlag The C. V. Mosby Company St. Louis (1954), S. 179 u. 183

WANNENMACHER, E. — Die Veränderungen der Pulpa bei keilförmigen Defekten mit besonderer Berücksichtigung der Reizdentinbildung. Korrbl. für Zahnärzte 51, 388 (1927)

WANNENMACHER, E. — Lehrbuch der klinischen Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Bd. II Verlag J. A. Barth, Leipzig (1969)

WERNER, W. O. — Über eine Schmelzerosion unbekannter Genese. ZWR 80, 236 (1971)

Herrn Professor Dr. med. dent. Hans LENZ danke ich für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie für seine freundliche Unterstützung im Verlaufe der Arbeit sehr herzlich.

Ebenso gilt mein Dank Frau Helga ADAM für die Hilfe bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen und für die Durchführung der photographischen Arbeiten.

L E B E N S L A U F

Am 19. Mai 1943 wurde ich, Bärbel Guggolz, als Tochter des Diplomingenieurs Dr. Ernst Guggolz und seiner Ehefrau Erna, geb. Grüning, in Berlin geboren.

Von Oktober 1949 bis April 1953 besuchte ich eine private Grundschule in Berlin-Zehlendorf und anschließend das humanistische Gymnasium zu Berlin-Steglitz, wo ich im März 1962 das Abitur bestand.

Im Sommersemester desselben Jahres nahm ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Zahnheilkunde auf und bestand dort im April 1965 die zahnärztliche Vorprüfung. Mit Ausnahme des Sommersemesters 1966 und des Wintersemesters 1966/67, wo ich an der Philipps-Universität in Marburg immatrikuliert war, absolvierte ich den klinischen Teil des Studiums ebenfalls an der Freien Universität Berlin. Im Juli 1968 beendete ich das Studium mit der zahnärztlichen Prüfung.

Seit Oktober 1968 nun übe ich in Berlin als Assistenzzahnärztin meinen Beruf aus.